This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

Eng 318

$\frac{3}{2_{VII}}$

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

COMMISSION DES MÉTHODES D'ESSAI

DES

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

DEUXIÈME SESSION

TOME III

SECTION B ET SECTIONS A ET B RÉUNIES

(MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION AUTRES QUE LES MÉTAUX
ET PRODUITS SECONDAIRES DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION)

RAPPORTS PARTICULIERS

PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49

1900

368

Eng 2nd/3

Eng 318.94 F

~~Eng 319.00 F~~

JUN 20 1917
TRANSFERRED TO
HARVARD COLLEGE LIBRARY

~~430.52~~

3
1 ~~XI~~

France – Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

TABLE GÉNÉRALE DES RAPPORTS.

		Pages.
I.	— Méthodes d'essai des pierres de construction naturelles, par M. Gautier	3
II.	— Méthodes d'essai des pierres artificielles, par M. Viallet	9
III.	— Hygroscopicité des pierres, par M. Cordeau	15
IV.	— Perméabilité des matériaux de construction, par MM. Trélat et Cordeau	29
V.	— Perméabilité des matériaux de construction, par M. Somasco	33
VI.	— Méthodes d'essai des schistes ardoisiers pour couvertures, par M. Pierre Larivière	41
VII.	— Méthodes d'essai des produits céramiques, par M. Bourry	45
VIII.	— Méthodes d'essai des matériaux employés à la construction des chaussées, par M. Monmerqué	55
IX.	— Méthodes d'essai et conditions de recette des bois, par M. E. Bès de Berc	103
X.	— Constitution anatomique du bois, par M. André Thil	129
XI.	— Maladies des bois de construction, par M. le commandant Pralon	225
XII.	— Essais d'articles de corderie, par M. E. Polonceau	231
XIII.	— Essais de cuirs, par M. E. Polonceau	239
XIV.	— Essais de draps, toiles et tissus divers, par M. E Polonceau	243
XV.	— Essais de papiers, par M. E. Polonceau	251
XVI.	— Essais de caoutchoucs, par M. E. Polonceau	253

MÉTHODES D'ESSAI

DES

PIERRES DE CONSTRUCTION NATURELLES

(PIERRES PROPREMENT DITES, SCHISTES, ETC).

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. GAUTIER.

Autrefois, les pierres naturelles n'étaient soumises à aucun essai. Elles étaient employées près des lieux où elles étaient extraites, et leurs qualités s'appréciaient par un examen des travaux construits antérieurement. Mais les conditions d'emploi se sont modifiées, les pierres ont été livrées loin de leur lieu d'origine; de nouvelles carrières sont ouvertes continuellement et le temps manque pour apprécier, par la pratiques, les qualités des pierres extraites. Il en est résulté la nécessité de soumettre les pierres à des essais permettant de reconnaître, en peu de temps, si elles possédaient les qualités exigées suivant leurs divers modes d'emploi.

Jusqu'à ces dernières années, les pierres n'étaient soumises qu'aux essais permettant de déterminer leur *densité* et leur *résistance à l'écrasement.* On a reconnu qu'il fallait les soumettre à d'autres essais déterminés par leur mode d'emploi.

Quelquefois, on emploie la pierre en balcons, en linteaux; elle est soumise à des efforts de flexion, ce qui conduit à essayer sa résistance à la *rupture par flexion.*

Certaines pierres peuvent être employées en dallage, il est donc nécessaire de voir comment elles se comportent dans ces conditions; il peut aussi être utile d'apprécier leur difficulté de taille. On est ainsi conduit à des essais de *dureté.*

Le mot dureté, d'une façon absolue, est très difficile à définir; il existe plusieurs moyens d'évaluer des duretés particulières qui sont : la *résistance à l'usure par frottement,* la *résistance à l'éclatement sous le choc* et la *résistance au forage.* Les pierres récemment extraites et imbibées d'eau sont, en général, moins dures et plus faciles à travailler que celles qui ont jeté leur eau de carrière.

Les pierres renferment toujours des matières étrangères qu'il est souvent nécessaire de connaître. Ainsi, les pierres renfermant une forte proportion d'argile ne doivent pas être soumises à des alternatives fréquentes de sécheresse et d'humidité : elles se désagrégeraient très rapide-

ment; celles renfermant de la magnésie sont très sensibles à l'action du soufre qui se trouve à l'état d'acide sulfureux ou sulfhydrique dans l'air et dans le sol. Il y a lieu de les soumettre à l'*analyse chimique*.

Il est utile de connaître la faculté et la rapidité plus ou moins considérable d'absorption que possède une pierre, cette faculté influant sur sa résistance et sur sa valeur; on est conduit alors à des essais de *porosité*.

Certaines pierres se désagrègent sous l'action de la gelée, qui agit sur elles de différentes façons bien distinctes : elle les fait éclater dans tous les sens, les divise en plaquettes suivant les lits ou bien encore les creuse dans les parties tendres ou les désagrège progressivement à la surface en forme d'écailles. Il est très utile de pouvoir déterminer à l'avance comment une pierre résistera; on la soumet à des essais de *gélivité*.

Pour étudier l'action de la gelée sur les pierres, on a recours à des procédés de congélation artificielle; mais on ne peut obtenir que des indications, car il est très difficile de se placer dans les mêmes conditions que dans la pratique.

Jusqu'à ces derniers temps, on employait le procédé Brard, tel qu'il a été défini par M. Héricart de Thury.

Maintenant, on se sert d'appareils permettant de congeler les éprouvettes à un froid de — 15 à — 20 degrés.

Mais la gelée seule ne détruit pas les pierres; beaucoup d'autres facteurs y concourent : le soleil, l'acide carbonique de l'air, l'humidité de l'air, la pluie, la température etc. Il n'y a malheureusement pas de procédé d'essai pouvant déterminer la résistance de la pierre à ces différents agents. La pratique seule peut fixer à ce sujet.

CONCLUSIONS.

Nous basant sur les méthodes d'essai généralement pratiquées, notamment au laboratoire de l'École nationale des ponts et chaussées, nous proposons de fixer les règles ci-après pour les essais des pierres de construction naturelles.

ÉCHANTILLONS.

Les échantillons de pierre de construction adressés à un laboratoire d'essais seront accompagnés d'une note faisant connaître le nom commercial de la pierre, la carrière et le banc d'où ils ont été extraits. On y joindra, autant que possible, une coupe de la carrière représentant la succession et l'épaisseur des bancs et les emplacements où ont été pris les échantillons. On indiquera la formation géologique à laquelle appartient la carrière (d'après les divers auteurs).

Les emplois auxquels la pierre est destinée seront spécifiés.

Les échantillons seront simplement dégrossis en forme de prismes rectangulaires ayant au moins 0 m. 30 de côté et de hauteur égale à celle des bancs dans lesquels ils ont été prélevés. Si la hauteur d'un banc était trop grande, on prendrait des échantillons à différentes hauteurs dans le banc.

Le sens du lit de carrière sera figuré sur les échantillons.

Le laboratoire d'essai fera connaître la composition minéralogique des échantillons, la couleur et la texture de la pierre.

La finesse du grain sera désignée d'après la classification suivante :

a. Sans coquilles apparentes; quelques coquilles; coquillier; très coquillier.

b. Grains très fins formés ou amorphes (0 mm. 2 à 0 mm. 4); grains fins formés ou amorphes (0 mm. 3 à 0 mm. 8); grains assez fins (0 mm. 5 à 1 mm. 2); grains moyens (1 mm. à 2 mm. 5); grains un peu grossiers (2 mm. à 4 mm.); grains grossiers (3 mm. à 1 mm.); grains très grossiers (5 millimètres et au delà).

ÉPROUVETTES

Les éprouvettes d'essai seront débitées au laboratoire, à la scie ou au fil, afin d'éviter des fissures dont on ne s'apercevrait pas.

Les éprouvettes devant être essayées soit suivant le lit de carrière, soit perpendiculairement à ce lit, il importe de prendre les dispositions nécessaires dans le prélèvement et la préparation des éprouvettes d'essai.

La résistance de la pierre aux différents efforts variant souvent avec son état d'imbibition d'eau, les éprouvettes seront soumises aux essais, soit seulement à l'état sec, soit à l'état sec et à divers degrés d'imbibition.

Les procès-verbaux indiqueront l'état dans lequel les éprouvettes auront été expérimentées (sec ou mouillé avec le degré d'imbibition s'il y a lieu) ainsi que le sens suivant lequel l'essai aura été fait par rapport au lit de carrière.

Pour amener les éprouvettes à l'état sec, on les exposera dans une étuve ou dans tout autre appareil ou même à l'air libre à une température de +30 à +40 degrés centigrades, jusqu'à ce que leur poids demeure invariable.

Pour les avoir à divers états d'imbibition [1], il suffit de les plonger dans l'eau un temps suffisant. On facilite l'absorption en plongeant les pierres graduellement dans l'eau, au commencement de l'expérience, on les immerge de quelques centimètres, puis, lorsque la capillarité les a imbibées jusqu'à la partie supérieure, on les immerge complètement dans l'eau; on les laisse immergées un temps plus ou moins long suivant le degré d'imbibition que l'on désire.

Pour imbiber les pierres d'eau dans un délai suffisamment abrégé, on peut se servir du procédé suivant :

On place les éprouvettes sous la cloche d'une machine pneumatique; on fait le vide à des degrés différents; puis on fait entrer l'eau par le sommet de la cloche jusqu'à immersion complète, on remet après quelques minutes l'intérieur de la cloche en communication avec l'air extérieur [2].

Le degré d'imbibition des échantillons sera indiqué par la comparaison de leur poids à sec et après imbibition.

DENSITÉ.

Pour déterminer la densité apparente des éprouvettes on opérera de la façon suivante :

1° Les éprouvettes à l'état sec seront mesurées avec un pied à coulisse ordinaire donnant l'approximation au dixième de millimètre; le poids sera déterminé avec une balance sensible au demi-centigramme;

2° Pour les éprouvettes imbibées d'eau on se servira d'une balance hydrostatique [3] assez sensible pour indiquer exactement la deuxième décimale.

Le poids qu'aurait l'éprouvette pesée dans l'air sera obtenu en ajoutant, au poids de la pesée sous l'eau, le poids d'un volume égal d'eau.

---

[1] Les divers états d'imbibition sous lesquels on expérimente les pierres sont ordinairement les suivants :

1° Imbibition après vingt-quatre heures d'immersion comptées à partir de l'instant où la pierre est mise au contact de l'eau;

2° Imbibition jusqu'à saturation naturelle considérée comme telle quand deux pesées faites à vingt-quatre heures d'intervalle donnent les mêmes résultats.

Ces deux états d'imbibition correspondent sensiblement : l'imbibition après immersion de vingt-quatre heures, à l'état des pierres après un séjour prolongé sur le sol dans un dépôt; l'imbibition jusqu'à saturation naturelle, à l'état des pierres employées soit dans l'eau ou à son contact, soit dans la terre humide.

[2] Le vide partiel à faire pour obtenir une imbibition égale à la saturation naturelle amenée par immersion prolongée correspond sensiblement au maintien sous la cloche d'une pression faisant équilibre à une colonne de mercure de 260 millimètres de hauteur.

[3] Par cette méthode on évite la déperdition d'une certaine quantité de l'eau absorbée ou la difficulté d'enlever par essuyage une même quantité d'eau pour chacun des échantillons.

RÉSISTANCE À L'ÉCRASEMENT.

Les essais de résistance à l'écrasement peuvent être faits au moyen d'appareils à levier ou au moyen de presses hydrauliques.

Les éprouvettes devront être placées entre les plaques de compression, recouvertes d'une feuille de carton mince; il est utile qu'un des deux plateaux de compression soit mobile dans tous les sens.

Les éprouvettes auront la forme de cubes [1] à faces rigoureusement parallèles [2]. Elles seront aussi grosses que possible d'après la résistance présumée de la pierre et la force maximum de la machine d'essai.

Les dimensions des faces portantes seront indiquées dans le procès-verbal d'essai en même temps que la résistance rapportée au centimètre carré de surface portante.

L'essai portera sur au moins trois éprouvettes du même échantillon.

La moyenne des résultats fournis sera calculée.

POROSITÉ.

Les règles établies pour mesurer la porosité des mortiers s'appliquent aux pierres.

RÉSISTANCE À LA RUPTURE PAR FLEXION.

Les essais de résistance à la rupture par flexion se feront au moyen de prismes posés sur deux couteaux et chargés en leur milieu d'une façon continue jusqu'à rupture.

Les essais normaux seront faits avec des prismes à section carrée de 0 m. 02 de côté et de 0 m. 12 de longueur, posés sur deux couteaux distants de 0 m. 10 et chargés en leur milieu; n opérera sur au moins trois prismes par échantillon et on indiquera les poids bruts qui auront déterminé la rupture [3].

RÉSISTANCE À L'USURE PAR FROTTEMENT.

Pour déterminer la résistance à l'usure par frottement, on mesurera la quantité dont s'usent les échantillons lorsque, sous une charge donnée, ils subissent le frottement d'un sable normal répandu régulièrement sur une piste circulaire horizontale en fonte, qui se meut avec une vitesse déterminée.

Les échantillons auront comme dimensions : 0 m. 06 sur 0 m. 04 de base et une hauteur maximum de 0 m. 10 à 0 m. 12; ils seront posés deux à deux de part et d'autre de l'axe et sur un même diamètre de la meule de telle façon que leur centre se trouve sur une circonférence de 0 m. 261 de rayon, la petite dimension étant dirigée perpendiculairement au rayon.

La charge totale sur le plan de frottement sera de 250 grammes par centimètre carré.

Le sable normal employé sera obtenu en pilant, puis tamisant du grès quartzeux de Fontainebleau moyennement dur, passant au travers du tamis n° 50 (324 mailles) et retenu complètement sur le tamis n° 200 (4,900 mailles).

---

(1) Il résulte des essais comparatifs faits au laboratoire des Ponts et Chaussées sur des éprouvettes de forme cubique et de forme prismatique, que les éprouvettes de forme cubique donnent un maximum de résistance pour une pierre quelconque non homogène, tandis que, pour une pierre bien homogène, le maximum de résistance est obtenu avec des éprouvettes en forme de prismes à base carrée dont la hauteur est double de l'arête de la base. On a aussi établi que les cubes de pierre bien homogène résistent proportionnellement à leur section horizontale.

(2) Pour reconnaître si les faces sont bien parallèles, on peut employer l'appareil micrométrique imaginé par M. Klein sous la direction de M. l'inspecteur général Durand-Claye, appareil pouvant servir aussi à déterminer la compressibilité des pierres.

(3) Si l'on était conduit à essayer des pierres à la rupture par flexion sous forme de prismes n'ayant pas les dimensions fixées pour l'essai normal, on rendra les résultats sensiblement comparables à ceux qu'eût donnés l'essai normal en multipliant la charge de rupture par l'espacement des couteaux et la divisant par le carré de la hauteur du prisme et par sa largeur augmentée d'un quart.

La quantité de sable à répandre sur la meule sera d'un litre par éprouvette et par mille tours de meule.

On fera tourner l'appareil à raison de 1 000 tours par demi-heure et l'on fera subir aux échantillons 4,000 tours de meule. On mesurera la diminution de hauteur de l'échantillon et l'on déterminera la perte de poids qu'il a subie. La même constatation sera faite au cours de l'essai après 1,000, 2,000 et 3,000 tours.

On pourra retourner l'échantillon bout pour bout après 2,000 tours de meule afin de comparer les résultats obtenus sur la face inférieure et la face supérieure.

RÉSISTANCE À L'ÉCLATEMENT SOUS LE CHOC ET RÉSISTANCE AU FORAGE.

En ce qui concerne la résistance à l'éclatement sous le choc ainsi que la résistance au forage, les expériences faites ne sont pas encore en nombre suffisant pour que des règles puissent être indiquées.

Ces expériences devront être poursuivies.

ANALYSE CHIMIQUE.

Mémoire :

RÉSISTANCE À LA GELÉE.

L'épreuve de la résistance à la gelée devra normalement porter sur des éprouvettes cubiques de 7 centimètres d'arête. On pourra admettre exceptionnellement des dimensions plus faibles pour les pierres très dures.

Les essais de gélivité normaux comprendront :

(*a*) La détermination de la résistance à la compression de la pierre essayée sur lit, resséchée après gels et dégels successifs répétés jusqu'à vingt-cinq fois, et la comparaison de cette résistance avec celles de la pierre primitive essayée sur lit à l'état sec et à l'état d'imbibition jusqu'à saturation.

(*b*) La détermination de la perte de poids de la pierre gelée vingt-cinq fois.

(*c*) L'examen de la pierre gelée avec le secours de la loupe en cherchant à se rendre compte si des gerçures ou des éclatements se sont produits.

Il faut employer pour ces essais au moins :

3 éprouvettes à l'état sec;

3 éprouvettes imbibées d'eau à l'état de saturation;

3 éprouvettes imbibées d'eau à l'état de saturation à soumettre à l'essai de gélivité proprement dit [1].

Si l'on veut faire la comparaison de la résistance à l'écrasement en délit, il faudra un nombre double d'éprouvettes.

Dans l'exécution de ces essais, il faudra tenir compte des détails suivants :

(*a*) On se servira pour l'immersion d'eau distillée, prise à la température de + 15 à + 20 degrés centigrades, ou, à défaut d'eau distillée, d'eau potable, prise à la même température, qui n'offre pas d'inconvénient quand on ne tient pas à déterminer la quantité de sels solubles.

[1] On fait généralement les essais de gélivité sur des éprouvettes aux deux états d'imbibition indiqués précédemment : imbibition après immersion de 24 heures et imbibition jusqu'à saturation naturelle. Le nombre des éprouvettes à soumettre à l'essai de gélivité proprement dit est alors augmenté de trois au moins.

(*b*) Les éprouvettes seront exposées à une température de — 15 à — 20 degrés centigrades.

(*c*) La durée d'exposition au froid sera de quatre heures.

(*d*) Le dégel s'accomplira par immersion complète de chaque éprouvette de 7 centimètres d'arête dans un volume de 500 centimètres cubes d'eau distillée ou d'eau potable à la température de + 15 à + 20 degrés centigrades [1].

Paris, le 25 janvier 1895.

GAUTIER.

[1] Pour les éprouvettes essayées à l'état d'imbibition après immersion de 24 heures, le dégel s'accomplit dans l'air humide et non dans l'eau. Dans l'intervalle qui sépare les gels et dégels successifs, les cubes d'essai sont conservés dans des bocaux fermés pour éviter une trop grande déperdition de l'eau absorbée; de plus, on a soin avant de les soumettre à une nouvelle action du froid, de les plonger quelques instants dans l'eau de manière à leur conserver pendant toute la durée de l'essai sensiblement le même degré d'imbibition qu'ils avaient au début de l'expérience.

MÉTHODES D'ESSAI

DES PIERRES ARTIFICIELLES.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. VIALLET.

L'art de bâtir en pierres factices remonte à la plus haute antiquité : fort en honneur chez les Babyloniens et les Égyptiens, il prit un grand développement chez les Romains qui le répandirent partout où ils passèrent. A Rome, suivant Vitruve, les maisons bâties en briques crues conservaient toute leur valeur alors que celles élevées en moellons perdaient chaque année un quatre-vingtième du prix qu'elles avaient coûté. On trouve encore de nombreux vestiges de monuments construits en blocs artificiels.

Ce mode de construction semble abandonné au moyen âge ; peut-être faut-il attribuer cet arrêt aux soins minutieux et au temps qu'exigeait la fabrication d'une pierre factice et à l'ignorance des procédés employés autrefois par les Romains.

On constate une reprise vers le milieu du XVIIIe siècle.

En 1753, Bélidor, dans son *Architecture hydraulique* (IIe partie, tome 2), signale à l'attention des ingénieurs les jetées de la nouvelle darse à Toulon constituées par un béton de pouzzolane rouge, de sable, de recoupes de pierres, de mâchefer concassé, de pierres et de chaux vive concassée.

En 1774, M. de la Faye fait paraître un mémoire intitulé : *Recherches sur la préparation que les Romains donnaient à la chaux dont ils se servaient pour leurs constructions et sur la composition et l'emploi des mortiers.*

En 1807, nouvelles tentatives pour l'obtention de pierres artificielles à durcissement rapide. M. Fleuret, ancien professeur d'architecture à l'École royale militaire de Paris, dans un ouvrage publié à cette époque, enseigne l'art de composer des pierres factices « aussi dures que le caillou » avec un béton de tuileaux, de poteries pilées, de sable et de chaux nouvellement cuite.

Malgré toutes ces recherches, l'emploi des pierres artificielles progresse lentement ; les produits obtenus ne pouvaient être de qualité bien égale, étant donnée l'irrégularité de composition des matières premières dont on disposait alors.

Les travaux de Vicat sur les chaux naturelles et artificielles, la découverte des ciments naturels à prise rapide et l'introduction en France du ciment portland modifient cet état de chose. La fabrication des pierres factices prend dès lors une grande extension.

Aujourd'hui ces produits économiques, classés parmi les bons matériaux de construction,

sont de plus en plus appréciés et ce, avec d'autant plus de raison qu'il est souvent difficile et toujours coûteux de se procurer de bonnes pierres naturelles.

Dans les bétons et les mortiers pleins, le sable et le gravier étant entourés de gangue sont soustraits à l'action de l'air et leur qualité, tout en influant sur les résultats, n'a pas une importance prédominante dans la tenue des blocs artificiels. On peut donc trouver à peu près partout des matériaux de qualité suffisante pour obtenir de bonnes pierres factices et il est par suite intéressant de rechercher si les méthodes d'essai des pierres naturelles sont applicables aux pierres artificielles ou doivent être modifiées.

DES DIFFÉRENTES SORTES DE PIERRES FACTICES ACTUELLEMENT EN USAGE.

1° Pierres factices en béton maigre de graviers et ciment. Avec un dosage de 180 kilogrammes de ciment par mètre cube de graviers roulés ou de pierres cassées passant à l'anneau de 0 m. 04, on obtient un béton très résistant possédant une grande élasticité.

2° Pierres factices en béton maigre de graviers et ciment recouvert sur les faces vues d'un enduit de mortier de sable et ciment employé à peu près sec et pilonné. On obtient par ce procédé des pierres factices moulurées employées avec succès en Dauphiné. Le béton maigre, apparent sur les lits de pose, assure une grande adhérence entre les appareils.

C'est aussi à ce mode de construction que se rattachent les chaussées et trottoirs en ciment dont on trouve de nombreux exemples dans le sud-est de la France et plus spécialement à Grenoble, la Seyne, Bandol, Nice, etc., etc.

3° Pierres artificielles en mortier de sable et ciment employé à peu près sec et pilonné. Après durcissement, elles sont susceptibles d'être tournées, travaillées au ciseau, bouchardées tout comme les pierres naturelles. On peut ainsi obtenir des surfaces granitées d'un très bel effet.

4° Pierres artificielles obtenues en coulant ou en pilonnant dans des moules de ciment, de bois, de gélatine ou de métal, un béton ou mortier plein. Très employées dans les constructions; on en voit de nombreuses applications à Turin, Genève, Grenoble, où des monuments, des écoles, des églises sont entièrement élevés du soubassement au faîte avec ces blocs artificiels.

C'est aussi ce béton ou mortier plein qui est employé pour conduites d'eau sous pression, grands aqueducs, égouts, revêtements de forts, etc.

5° Pierres artificielles en mortier maigre de chaux hydraulique ou de chaux hydraulique et ciment énergiquement comprimés.

ESSAI DES PIERRES ARTIFICIELLES.

La qualité d'une pierre artificielle dépend essentiellement de celle des matériaux employés, de leur dosage et des soins apportés à sa fabrication.

Réception des matériaux. — La réception des chaux et ciments se fait en se conformant aux règles ordinaires. Pour le choix des essais et du mode de conservation des éprouvettes, on doit, autant que possible, tenir compte de l'emploi auquel sont destinés les blocs artificiels. C'est là un point absolument indispensable si l'on veut s'assurer de la parfaite réussite du travail.

Un ciment peut en effet se comporter très bien dans un milieu et fort mal dans un autre. Contrairement à une opinion trop généralement admise, la supériorité d'un produit dans un genre de travail n'implique pas forcément sa supériorité dans tous les autres.

Contrôle de la fabrication. — En cours d'exécution, il est facile de s'assurer de la bonne fabrication des pierres factices en prélevant de temps en temps du mortier préparé sur le chantier et en le soumettant aux essais courants de laboratoire. Il importe d'adopter de grandes éprouvettes, surtout dans les essais de traction pour lesquels la présence de graviers un peu gros dans la section de rupture peut fausser complètement les résultats.

Avec l'ancienne briquette de 16 centimètres carrés, on obtient une approximation fort suffisante et des chiffres qui s'écartent relativement peu les uns des autres. On ne doit pas d'ailleurs

perdre de vue que ces essais ne constituent qu'un contrôle de la fabrication et que par suite on ne peut en exiger la précision obtenue dans les laboratoires.

Essais des pierres factices fabriquées.

On peut assimiler les pierres factices fabriquées aux pierres naturelles et les soumettre aux mêmes essais. La confection des éprouvettes ne présente pas de difficulté. Dans un mortier déjà ancien, ayant acquis une certaine dureté, il est même possible de découper à la scie ou au fil des tranches de 0 m. 0225 d'épaisseur et de tailler dans ces plaques, à la broche ou au ciseau, des briquettes en huit de cinq centimètres carrés de section minimum dont la forme se rapproche sensiblement de celle de l'éprouvette normale.

Les résistances à la traction de ces échantillons ne peuvent évidemment pas être très régulières. Il faut en effet compter avec l'irrégularité de grosseur et de répartition du sable et l'ébranlement du mortier occasionné par le travail du tailleur de pierre.

Malgré leur imperfection, ces essais permettent cependant de se rendre suffisamment compte de la valeur d'un mortier en service et doivent être recommandés.

Le tableau A ci-après donne une idée des écarts obtenus avec des briquettes découpées dans un même bloc. Pour établir la résistance moyenne on a pris la moyenne des trois résultats maxima dans chaque série de quatre briquettes essayées.

Conclusion.

Les méthodes d'essai des pierres naturelles peuvent s'appliquer aux pierres artificielles.

Les échantillons prélevés dans du béton ou mortier en service seront autant que possible accompagnés d'une note indiquant :

1° La nature du ciment employé ;

2° La nature du sable et sa composition granulométrique ;

3° La nature du gravier ;

4° Le dosage de ces différents matériaux ;

5° La nature de l'eau de gâchage ;

6° La destination des blocs artificiels ;

7° Leur âge.

L'ensemble de ces renseignements permettra, en multipliant les essais de ce genre, de se rendre compte de la façon dont les différents produits se comportent dans chaque milieu et de leur résistance aux divers agents de destruction.

DES ESSAIS PLUS SPÉCIALEMENT APPLICABLES À CERTAINES PIERRES FACTICES.

Chaussées et trottoirs en ciment [1].

On peut soumettre les chaussées et trottoirs en ciment aux essais :

1° De traction, en découpant dans l'enduit, à la broche ou au ciseau, des briquettes en huit de cinq centimètres carrés de section minimum ;

[1] Une chaussée en ciment comprend :

1° Une couche de gros graviers de 0 m. 25 à 0 m. 30 d'épaisseur. (Fondation et drainage.)

2° Une couche de béton maigre de 0 m. 20 d'épaisseur composée de 180 kilogrammes de ciment par mètre cube de gravier passant à l'anneau de 0 m. 05. (Couche support.)

3° Un enduit de 0 m. 05 d'épaisseur en mortier composé de 1,200 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable employé à peu près sec et damé. (Surface de roulement.)

2° De compression, en découpant dans l'enduit, à la scie ou au fil, de petits blocs cubiques dont le côté varie avec l'épaisseur du mortier ;

3° D'usure au frottement, par l'appareil Dorry.

Dans quelles proportions les résistances à la traction, à la compression et à l'usure au frottement interviennent-elles pour concourir à la qualité d'un dallage en ciment ?

C'est ce qu'il est bien difficile de préciser actuellement en l'absence d'essais suivis.

Au point de vue de l'interprétation des résultats, il convient en outre d'observer que si les expériences de laboratoire permettent de comparer entre elles des chaussées de même nature, elles sont par contre insuffisantes pour l'étude de la valeur relative de deux chaussées différentes telles qu'un dallage en ciment et une chaussée pavée, par exemple.

Dans la chaussée pavée, la surface de roulement est découpée par de nombreux joints, les ressauts des voitures et les chocs qui en résultent facilitent la désagrégation des pierres et augmentent l'usure au frottement. Ce défaut, que ne peuvent accuser les essais portant sur blocs isolés, s'accentue rapidement par suite de la dénivellation de plus en plus marquée de la surface sous l'action répétée des chocs.

Dans le dallage en ciment au contraire, la surface de roulement est parfaitement unie et les chocs sont à peu près nuls.

On conçoit donc qu'un mortier puisse, en chaussée, donner de meilleurs résultats pratiques qu'une pierre plus dure et plus résistante au frottement.

CONDUITES D'EAU SOUS PRESSION EN BÉTON OU MORTIER DE CIMENT.

Depuis 1845 les conduites d'eau sous pression en béton de ciment ont pris un grand développement en France et à l'étranger. Il paraît donc intéressant de rechercher à quels essais on peut soumettre ces pierres artificielles pour vérifier leur résistance aux pressions intérieures et leur étanchéité.

Résistance à la pression intérieure.

Dans toute canalisation un peu importante les tuyaux sont moulés sur place, portatifs ou coulés en tranchée, avec les matériaux du pays (sable et gravier). Pour s'assurer de la bonne exécution du travail, il suffit de prélever de temps en temps, sur le chantier, du béton ou mortier, d'en mouler des tuyaux des diamètres et épaisseurs prévus pour la conduite et de les soumettre, au bout d'un temps déterminé, à un essai de pression hydraulique en poussant l'expérience jusqu'à rupture.

Pour vérifier l'état d'une canalisation exécutée depuis quelque temps, on découpe de loin en loin, à la broche ou au ciseau, des tronçons de tuyaux que l'on soumet aux mêmes essais. On les remplace par d'autres tuyaux de même diamètre et même épaisseur fabriqués deux ou trois mois avant le prélèvement des échantillons. En aucun cas, surtout dans les premiers mois, il ne convient de soumettre la canalisation à une pression supérieure à celle pour laquelle elle a été établie. Les formules généralement employées pour déterminer les épaisseurs des tuyaux sont en effet calculées en tenant compte de la résistance à trois mois des bétons de ciment avec emploi de matériaux de qualité ordinaire.

On n'applique qu'un faible coefficient de sécurité en raison de l'augmentation considérable de résistance que le béton et le mortier acquièrent avec le temps [1].

Il ne serait donc pas rationnel d'exiger que dès le début la conduite fût en état de supporter une pression de beaucoup supérieure à celle à laquelle elle doit réellement être soumise. Il n'en est pas de même pour les tuyaux d'autre nature (grès, fonte, fer, etc.), dont la résistance maximum au moment de la pose diminue progressivement avec le temps. Pour s'assurer de la durée d'une canalisation de ce genre, on est conduit à demander une forte résistance initiale.

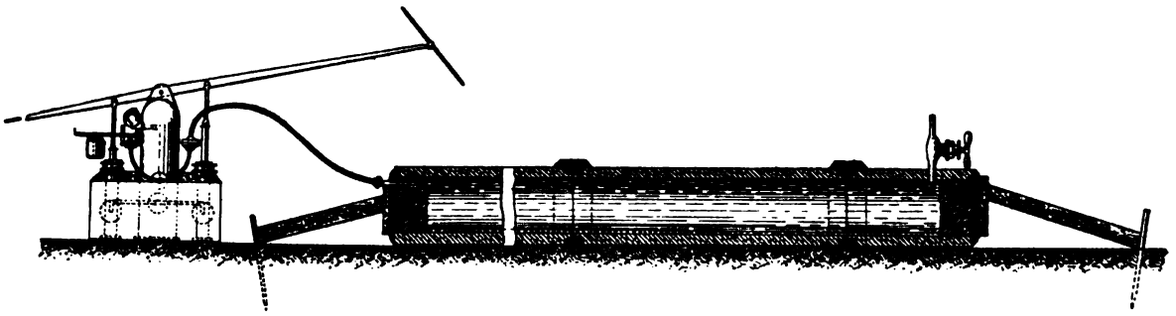
---

[1] Un tronçon de tuyau en béton de ciment dont l'épaisseur avait été calculée pour résister à une pression de 15 mètres, découpé en 1882 dans la canalisation de la ville de Grenoble après trente ans de service et essayé à la pression hydraulique, s'est rompu à 135 mètres.

(Expériences de M. Thiervoz, directeur de la voirie et des eaux de la ville de Grenoble. Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences — 1885.)

Épreuve hydraulique.

Les tuyaux assemblés, placés sur un sol légèrement en pente, sont fermés intérieurement à leurs extrémités par des briquetages de faible épaisseur recouverts d'un enduit en ciment pur. Ces cloisons, qui adhèrent fortement aux parois intérieures des tuyaux préalablement repiquées, peuvent être consolidées par des cales et pieux d'arrêt.



La conduite est mise en communication avec une pompe foulante munie d'un manomètre. Un robinet scellé dans la partie haute du tuyau et maintenu ouvert pendant le remplissage assure l'échappement de l'air.

On fait monter la pression lentement et sans à-coup.

Essai d'étanchéité.

Si, dans l'expérience précédente, on remplace la pompe foulante par une bâche placée à deux ou trois mètres au-dessus de la conduite, on soumet ainsi les tuyaux à une pression constante.

Avec un béton bien dosé et un mélange intime des matériaux, les parois, sèches pendant plusieurs heures, s'humectent peu à peu. La déperdition accusée par l'abaissement de l'eau dans la bâche augmente pendant quelques jours, atteint un maximum, diminue progressivement et devient nulle au bout de trois semaines, un mois. Les parois ne laissent plus alors passer d'eau, même sous des pressions de 25 à 30 mètres, et restent complètement sèches.

Au début, lors de la mise en service, une conduite en ciment n'est donc pas complètement étanche, mais elle le devient rapidement. C'est qu'en effet tout béton est poreux; l'eau de gâchage ne se combine pas entièrement avec le ciment : une partie s'évapore en laissant des vides très ténus. Au moment de la mise en charge, l'eau sous pression tend à traverser les parois de la conduite; dans son mouvement, elle entraîne de l'intérieur vers l'extérieur une certaine quantité de chaux libre qui remplit les pores et durcit en se carbonatant.

Avec un béton trop maigre, le colmatage des pores ne peut pas se produire et la conduite ne devient jamais étanche.

Si le mélange des matériaux n'est pas intime, le mortier contient des parties *crues* qui laissent perdre l'eau.

Conclusion.

Pour donner des indications utiles, les essais d'étanchéité doivent être poursuivis pendant un mois au moins.

Grenoble, le 10 avril 1893.

M. VIALLET.

TABLEAU A.

ESSAIS DE MORTIERS ANCIENS.

Résistances à la traction par centimètre carré.

Briquettes de 5 centimètres carrés de section, découpées dans des dallages en service exécutés avec différents ciments.

NUMÉROS des DALLAGES.	ÂGE DES DALLAGES.	RÉSISTANCES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ EN KILOGRAMMES.	MOYENNE en kilogrammes.	POIDS MOYEN.
				kg.
1	44 mois.....	45 – 44 – 40 – 35.....	43	2,64
2	*Idem*.....	26 – 45 – 59 – 52.....	52	7,00
3	*Idem*.....	31 – 31 – 40 – 35.....	35	5,00
4	*Idem*.....	43 – 44 – 50 – 38.....	46	3,80
5	*Idem*.....	30 – 44 – 45 – 41.....	43	2,10
6	*Idem*.....	31 – 28 – 26 – 32.....	30	2,10
7	*Idem*.....	38 – 37 – 36 – 43.....	39	4,47
8	*Idem*.....	36 – 39 – 41 – 35.....	39	2,55
9	*Idem*.....	16 – 17 – 22 – 23.....	21	3,16
10	32 mois.....	26 – 20 – 25 – 24 – 20 – 28 – 29 – 18 – 20 – 25 – 33 25.....	26	3,60
11	*Idem*.....	15 – 19 – 19 – 20 – 18 – 23 – 15 – 21 – 29 – 30.....	21	3,52
12	*Idem*.....	29 – 17 – 29 – 35 – 26 – 20.....	30	3,80

NOTA. La confection de ces 64 briquettes a demandé 9 journées de tailleur de pierre.

HYGROSCOPICITÉ DES PIERRES.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. ÉMILE TRÉLAT AU NOM DE M. A. CORDEAU.

PRÉLIMINAIRES.

Lorsqu'on fait absorber à une pierre toute l'eau que peuvent renfermer ses pores, le volume d'eau absorbée sert à la mesure de la *porosité* de la pierre.

Si on la laisse ensuite égoutter en la soustrayant à l'évaporation, une portion de l'eau s'écoule, une autre reste fixée dans les pores de la pierre où elle est retenue par le jeu des *actions capillaires*.

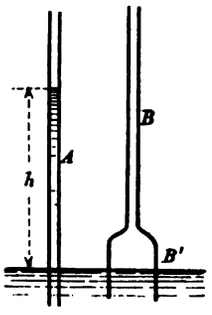


Fig. 1.

Si on prend la même pierre et qu'on plonge sa base dans l'eau, on la voit s'imbiber peu à peu de la base à la partie supérieure; la quantité d'eau qu'elle absorbe ainsi par capillarité est moindre que celle qu'elle avait gardée dans ses pores dans l'expérience précédente.

Nous croyons pouvoir donner de ce fait l'explication suivante :

Prenons un premier tube capillaire A, dans lequel l'eau monte à la hauteur h; plaçons à côté un tube B, de même diamètre, mais terminé à sa partie inférieure par un tube court et de diamètre beaucoup plus grand B'. L'eau ne montera pas dans ce deuxième tube; mais, si par aspiration on l'amène à remplir le tube B, son niveau s'y établira à la hauteur h (fig. 1). Dans une pierre, certains pores sont trop larges pour que l'eau puisse y monter par capillarité dans toute la hauteur de l'échantillon; mais, comme ces pores larges sont en communication avec d'autres plus étroits, ces derniers, lorsque la pierre a été complètement imprégnée d'eau, jouent, par rapport aux autres, le même rôle que le tube B par rapport au tube B' dans l'expérience que nous venons de rappeler.

De plus, l'eau ne peut abandonner les pores de la pierre que si elle y est remplacée par de

l'air, et les expériences de MM. Hudelo et Somasco ont montré que l'air pénètre très difficilement les matériaux mouillés.

La Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction a, dans sa première session, mis à l'étude la porosité des matériaux et leur perméabilité à l'eau; elle a paru laisser de côté la propriété qu'ils ont d'absorber l'eau par capillarité. Cette propriété a été nommée *hygroscopicité* par M. Poincarré, qui l'a étudiée le premier.

M. Poincarré a plongé par leur base, dans de l'eau pure et sur un demi-centimètre de hauteur, des parallélipipèdes de diverses pierres, et, en notant d'heure en heure l'augmentation de poids, il a constaté que le plus haut degré de saturation était toujours atteint au bout de vingt-quatre heures.

Nous avons essayé de nous rendre compte de la marche du phénomène et de reconnaître l'action des causes extérieures qui peuvent le favoriser ou le contrarier.

ÉTUDE DU PHÉNOMÈNE.

Description des expériences.

Nous avons opéré sur une pierre artificielle qui n'est pas un *matériau* de construction; elle est connue dans le commerce sous le nom de *brique anglaise à nettoyer les couteaux*. C'est une pierre siliceuse très tendre; nous l'avons choisie à cause de la facilité avec laquelle on peut se la procurer et la tailler soi-même; de plus, elle est bien homogène, le phénomène s'y produit avec une grande netteté et très rapidement; enfin cette pierre, qui, lorsqu'elle est sèche, est d'un jaune pâle, devient jaune foncé dès qu'elle est mouillée, ce qui rend les observations faciles.

Lorsqu'une pierre plonge dans l'eau par sa base, l'absorption, d'abord très rapide, diminue ensuite progressivement; mais, pendant tout le temps que dure l'expérience, la surface de la pierre laisse évaporer une certaine quantité d'eau. Pour nous mettre à l'abri des causes d'erreur dues à cette évaporation, nous avons employé le dispositif suivant (fig. 2) :

Le parallélipipède de pierre A, reposant sur deux couteaux C, C, est placé sous une cloche

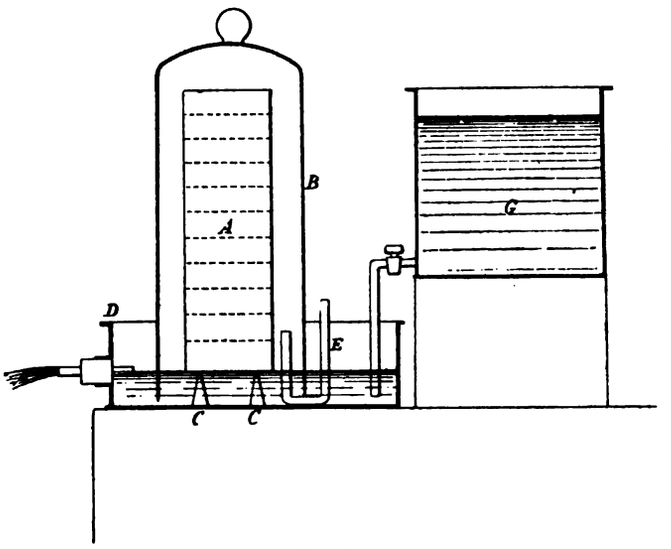


Fig. 2.

de verre B, dans un bac à niveau constant D; les bords de la cloche ne touchent pas le fond du bac, et un tube recourbé E met l'intérieur de la cloche en communication avec l'atmosphère.

L'eau est d'abord amenée, dans le bac, à un niveau un peu inférieur à celui de l'arête des couteaux; on ferme le tube E et on attend une demi-heure, pour que l'air de la cloche soit saturé d'humidité. Au bout de ce temps, on ouvre le tube E et on verse peu à peu de l'eau dans le bac en ouvrant le robinet du réservoir G; au moment où l'eau vient toucher la base de

la pierre, on commence à compter le temps au moyen d'un métronome battant le seconde. Des lignes horizontales, tracées de centimètre en centimètre sur une des faces du bloc au moyen d'un crayon fin, permettent de suivre la marche du phénomène. Nous avons opéré sur trois parallélipipèdes découpés dans une même brique, l'un à côté de l'autre, et dont nous avons reconnu l'homogénéité d'après les valeurs données dans le tableau suivant :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.
Section du bloc	0 m. 034 × 0 m. 035	0 m. 034 × 0 m. 035	0 m. 034 × 0 m. 035
Hauteur	0 m. 050	0 m. 100	0 m. 150
Volume	0 dm³. 0595	0 dm³. 119	0 dm³. 1785
Poids	76 grammes	152 grammes	228 grammes
Porosité	$\frac{34}{59,5} = 0,571$	$\frac{58}{119} = 0,571$	$\frac{102}{178,5} = 0,571$

Nous avons fait sur chacun d'eux des expériences dont nous donnons les moyennes dans le tableau ci-dessous.

Résultats obtenus.

Nous avons constaté d'abord sur divers échantillons que *la figure et les dimensions de la section mouillée, pourvu que le bloc soit à section constante, n'ont aucune influence sur la marche du phénomène. La montée de l'eau, d'abord très rapide, se ralentit ensuite de plus en plus; la ligne de séparation de la partie sèche et de la partie mouillée reste constamment horizontale. La loi du mouvement est la même, quelle que soit la hauteur de la pierre; elle peut s'exprimer par la formule* $h = k\sqrt{t}$, dans laquelle h représente la hauteur à laquelle l'eau est montée dans la pierre à un moment donné et est exprimé en décimètres, le temps t étant exprimé en secondes.

Nous avons trouvé dans les expériences précédentes $k = \frac{1}{32}$.

HAUTEURS.	N° 1.	N° 2.	N° 3.	TEMPS CALCULÉ par la formule.
décimètres.	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.
$h =$ 0,10	$t =$ 10	$t =$ 10	$t =$ 10	$t =$ 10,24
0,20	41	42	41	40,96
0,30	91	92	92	92,16
0,40	165	164	164	163,84
0,50	255	257	257	256,00
0,60	.....	370	369	368,64
0,70	.....	503	502	501,76
0,80	.....	654	653	655,36
0,90	.....	831	832	829,44
1,00	.....	1.025	1.023	1.024,00
1,10	.....	.....	1.240	1.239,04
1,20	.....	.....	1.473	1.474,56
1,30	.....	.....	1.732	1.730,82
1,40	.....	.....	2.008	2.007,04
1,50	.....	.....	2.305	2.304,00

La quantité d'eau absorbée au moment où la section supérieure de l'échantillon est mouillée a été de 24 grammes pour le n° 1, 48 grammes pour le n° 2, et 72 grammes pour le n° 3.

Si, pour les n°s 2 et 3, on arrête l'expérience au moment où l'eau est montée à 0 m. 05, ils en ont absorbé l'un et l'autre 24 grammes.

Si, pour le n° 3, on arrête l'expérience au moment où l'eau est montée à 0 m. 10, il en a absorbé 48 grammes.

La quantité d'eau absorbée à un moment donné est donc proportionnelle à la hauteur de la partie mouillée.

En désignant par m le rapport constant, pour une même pierre, entre le volume d'eau absorbée et le volume de l'échantillon correspondant à la même hauteur, on voit que la quantité d'eau qui est montée dans un bloc de section ω pendant le temps t est donnée par la formule $Q = m\omega k\sqrt{t}$.

Si ω est exprimé en décimètres carrés, Q sera obtenu en kilogrammes.

Nous proposerons d'appeler *coefficient d'hygroscopicité d'une pierre le produit $mk = k'$ représentant le poids d'eau qui monte pendant la première seconde dans un bloc ayant un décimètre carré de section.*

La formule devient alors $Q = \omega k'\sqrt{t}$.

Nous avons trouvé dans les expériences précédentes : $m = 0{,}4033$, d'où $k' = 0{,}4033 \times \frac{1}{32} = 0{,}00126$.

Ce coefficient ainsi calculé n'est applicable que jusqu'au moment où l'eau a atteint la partie supérieure de la pierre soumise à l'expérience.

Si on laisse, après cet instant, la base de la pierre plongée dans l'eau, on constate qu'elle absorbe une quantité d'eau supplémentaire proportionnelle à son volume.

Ainsi, pour le n° 1, cette quantité d'eau est de 3 grammes; elle est de 6 grammes pour le n° 2, de 9 grammes pour le n° 3.

En étudiant ce qui se passe dans les tubes capillaires, nous avons cru reconnaître que l'ascension de la colonne liquide est d'autant plus lente que le diamètre du tube est plus petit. Ces phénomènes sont très difficiles à observer, et nous n'avons pu, faute de moyens suffisants, obtenir de résultats précis.

Une pierre comme celle que nous avons employée n'est pas rigoureusement homogène, puisqu'elle est formée de grains d'une certaine grosseur agglomérés; les pores des grains sont bien plus fins que ceux qui existent entre eux. Il est probable que l'eau monte d'abord par les chemins les plus faciles et emplit les pores les plus larges, d'où elle se répartit ensuite dans les plus étroits; un vide partiel se produit alors dans les pores les plus larges, et il en résulte l'absorption de la quantité d'eau supplémentaire constatée dans l'expérience.

Un autre fait semble confirmer cette manière de voir : si on laisse l'eau monter dans une pierre jusqu'à une certaine hauteur et qu'on l'éloigne à ce moment du liquide, on voit la hauteur de la partie mouillée augmenter lentement pendant un certain temps.

Il résulte de ce que nous venons d'exposer que l'on doit considérer un second rapport m_1 plus grand que m, pour le cas où la pierre est mouillée dans toute sa hauteur. Sa valeur, pour a pierre que nous avons étudiée, serait $m_1 = 0{,}4538$.

La quantité totale qu'une pierre de volume V peut absorber par capillarité est alors $Q_1 = m_1 V$. C'est celle qu'a étudiée M. Poincarré.

Nous avons cherché quel temps serait nécessaire à l'absorption de la quantité totale d'eau; pour cela, nous avons mis en expérience en même temps, l'un à côté de l'autre, les échantillons n° 1 et n° 2; nous avons arrêté l'expérience an moment où le n° 1, qui a 0 m. 05 de hauteur, avait absorbé toute l'eau qu'il peut prendre; nous avons réussi après quelques tâtonnements. Les deux blocs avaient alors absorbé des poids d'eau égaux; mais, dans le n° 2, la partie mouillée avait 0 m. 056 de hauteur; le temps total employé a été de 324 secondes.

En refaisant la même expérience avec les n°s 2 et 3, lorsque le n° 2, qui a 0 m. 10 de haut, avait absorbé toute l'eau qu'il peut prendre, la partie mouillée du n° 3 avait 0 m. 1125 de hauteur; les poids d'eau absorbée étaient égaux; le temps total employé a été de 1.295 secondes.

Enfin, pour le n° 3, le temps nécessaire à l'absorption de la quantité d'eau totale a été de 2.915 secondes.

La quantité d'eau supplémentaire absorbée par une pierre de hauteur h après que sa face supérieure est mouillée met à monter dans la pierre le même temps qu'elle employerait pour mouiller un bloc de la même pierre, mais plus haut que le premier, à partir de la hauteur h jusqu'à une hauteur supérieure h' correspondant à la quantité totale d'eau absorbée.

Inégale répartition de l'eau dans la pierre.

L'eau n'est pas également répartie dans la pierre : tandis que la section inférieure a ses pores complètement remplis, les sections à différentes hauteurs renferment de moins en moins d'eau, à mesure que la hauteur augmente.

Pour vérifier ce fait, nous avons constitué un parallélipipède de 0 m. 05 de hauteur, formé de cinq autres ayant chacun 0 m. 01 et reliés entre eux par une pâte obtenue en broyant avec de l'eau un fragment de la même pierre. Une expérience préalable nous a permis de reconnaître que ce bloc se comportait comme s'il était d'un seul morceau. Nous l'avons mis en expérience, puis nous avons séparé et pesé les cinq fragments dès que l'eau a eu atteint la face supérieure. En partant de la base, les différents fragments ont absorbé :

N° 1	10 grammes.
N° 2	8
N° 3	6
N° 4	5
N° 5	4
Au total	33

Inconvénients des interruptions dans l'expérience.

Si, comme l'a fait M. Poincarré, on interrompt à intervalles réguliers l'expérience pour faire les pesées, on retarde beaucoup la montée de l'eau, et on ne peut déduire de l'expérience ainsi faite que la quantité totale d'eau absorbée.

Nous avons vu qu'un échantillon de 0 m. 15 de hauteur absorbait la totalité de l'eau qu'il peut prendre, soit 81 grammes en 2.915 secondes, soit 48′ 35″. Nous avons refait, avec le même échantillon, l'expérience en l'interrompant toutes les dix minutes; l'interruption étant de 5 minutes, il a fallu ainsi 1 heure 25′ pour absorber 78 grammes. A partir de ce moment, les interruptions n'ont plus eu lieu que toutes les heures, et il a fallu 6 heures pour l'absorption des 3 grammes restants.

Différence entre le cas où la pierre est sur lit et celui où elle est en délit.

Pour les pierres qui ont un lit bien marqué, la montée de l'eau se fait moins rapidement quand la pierre est posée sur lit que lorsqu'elle est en délit.

Il semble que la pierre soit formée de couches homogènes séparées par des couches très minces de nature différente capables de retarder l'ascension du liquide et produisant un effet analogue, bien que moins énergique, à celui qu'on observe dans le cas de blocs superposés étudié plus loin.

Nous avons observé, en opérant sur un cube de 0 m. 05 d'arête, qu'en prenant successivement pour base chacune des trois faces d'un même angle solide, la durée du phénomène était la même pour deux des faces et plus longue pour la troisième. En examinant l'aspect de ces trois faces, nous avons remarqué sur les deux premières la trace d'une stratification parallèle à la troisième. Cette stratification est devenue très apparente après un lavage à grande eau avec une brosse un peu dure.

La montée de l'eau jusqu'à la face supérieure a demandé 275 secondes pour les deux pre-

mières faces et 325 secondes pour l'autre. Les quantités d'eau absorbée sont restées les mêmes dans les trois cas, et le phénomène s'est produit suivant une loi parabolique exprimée par la formule $h = k\sqrt{t}$.

En refaisant la même expérience avec d'autres échantillons, nous avons toujours obtenu des résultats analogues.

Influence des fentes horizontales, verticales ou obliques dans le corps des blocs.

1° Fentes horizontales.

Une fente horizontale, même très mince, si elle règne dans toute la section du bloc, interrompt complètement la montée de l'eau; mais, si le contact entre les deux surfaces est établi en un certain nombre de points, le phénomène se produit avec un retard d'autant plus considérable que les points de contact sont moins nombreux.

Nous avons fait deux parallélipipèdes, l'un d'un seul morceau ayant 0 m. 04 de haut, l'autre formé de quatre blocs superposés de 0 m. 01 chacun, dont les faces de contact ont été ajustées l'une sur l'autre en les rodant (fig. 3).

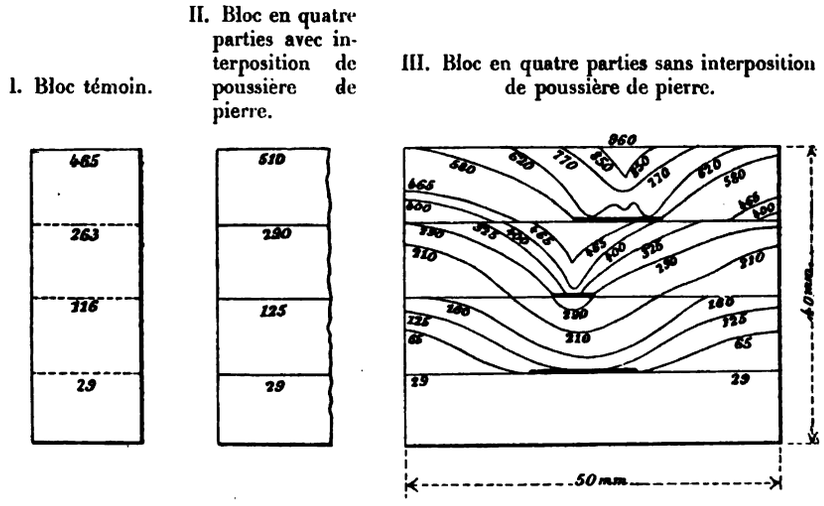


Fig. 3.

Dans une première expérience, nous avons laissé la fine poussière résultant de l'opération précédente interposée entre les blocs; le phénomène a été un peu retardé.

Dans une deuxième expérience, nous avons enlevé complètement cette poussière et posé les blocs simplement l'un sur l'autre; le contact n'étant pas alors aussi intime entre les faces, la montée de l'eau a été très retardée, une sorte de temps d'arrêt se produisant au passage d'un bloc à un autre. En certains points où le contact n'était pas parfait, le phénomène s'est produit d'une manière très irrégulière, comme l'indiquent les courbes de la figure 3.

Enfin, dans une troisième expérience, les blocs de 0 m. 01 ont été reliés entre eux par une pâte formée de fine poussière de pierre. Après dessiccation, le parallélipipède ainsi obtenu s'est comporté comme s'il était d'un seul bloc.

Pour étudier l'effet produit par une fente horizontale partielle, nous avons pratiqué sur l'un des bords d'un parallélipipède de 0 m. 06 de large une fente horizontale de 0 m. 04 de long et 0 m. 001 de large, placée à 0 m. 01 au-dessus de la base (fig. 4).

Un parallélipipède de la même pierre, mis en expérience en même temps, permet de reconnaître que la présence de la fente retarde beaucoup l'ascension de l'eau, parce que celle-ci se répand en même temps dans le sens horizontal dans la partie du bloc située au-dessus de la fente.

Le mouvement de l'eau dans le sens horizontal est d'abord plus lent que dans le sens vertical, mais, au bout d'un instant, il devient plus rapide; l'allure des courbes de la figure 4 fait prévoir *qu'à un moment donné le niveau de l'eau dans la pierre redeviendra horizontal.*

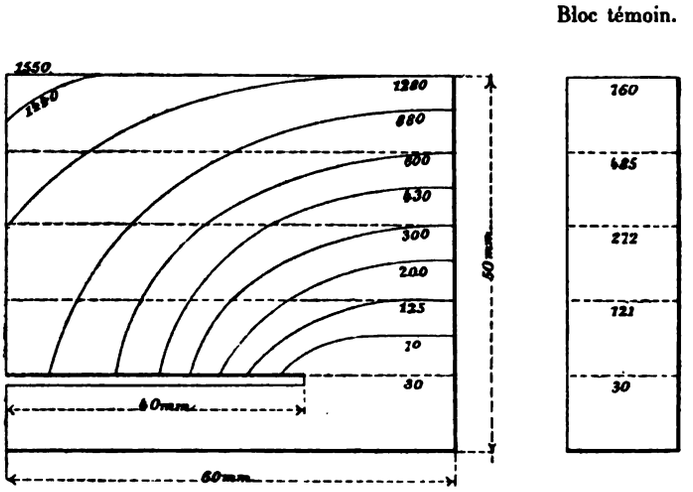


Fig. 4.

La durée du phénomène avec le bloc ordinaire est de 760 secondes; elle est de 1.550 secondes dans le cas du bloc fendu.

Nous avons refait une expérience analogue en pratiquant sur 0 m. 01 de hauteur une ouverture de 0 m. 03 de long au milieu de la base d'un parallélipipède de 0 m. 08 de longueur (fig. 5). Nous avons encore mis en expérience un parallélipipède témoin de la même pierre.

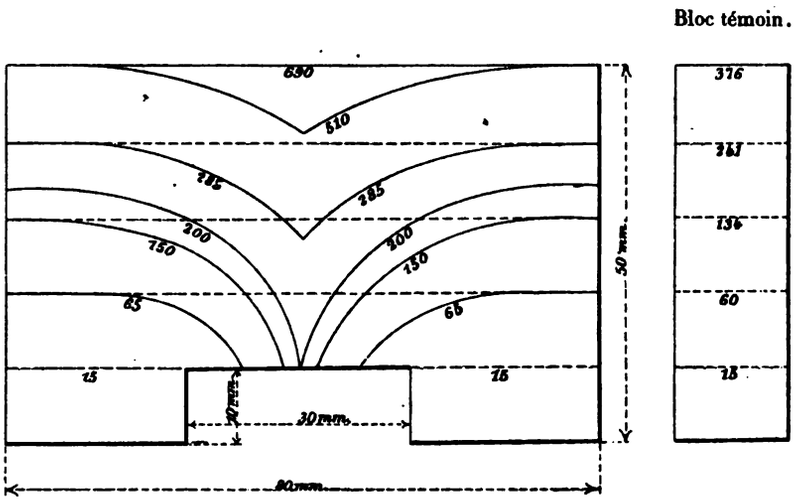


Fig. 5.

La marche du phénomène est moins ralentie que dans le cas précédent, le rapport de la section immergée à la section totale au-dessus de la fente étant plus grand. Le niveau de l'eau redeviendrait plus vite horizontal.

La face supérieure n'a été mouillée complètement qu'au bout de 690 secondes, tandis qu'elle l'était en 375 secondes dans le bloc témoin.

2° Fentes verticales.

Une fente verticale large agit comme nous venons de le voir; si elle est assez étroite pour former conduite capillaire, elle active le phénomène, surtout pendant les premiers instants; mais, comme l'indique la figure 6, le niveau redevient assez rapidement horizontal.

Nous avons opéré sur un parallélipipède de 0 m. 05 de long et 0 m. 07 de haut; à sa base et suivant l'axe, nous avons pratiqué, au moyen d'une lame de scie très fine, une fente verticale

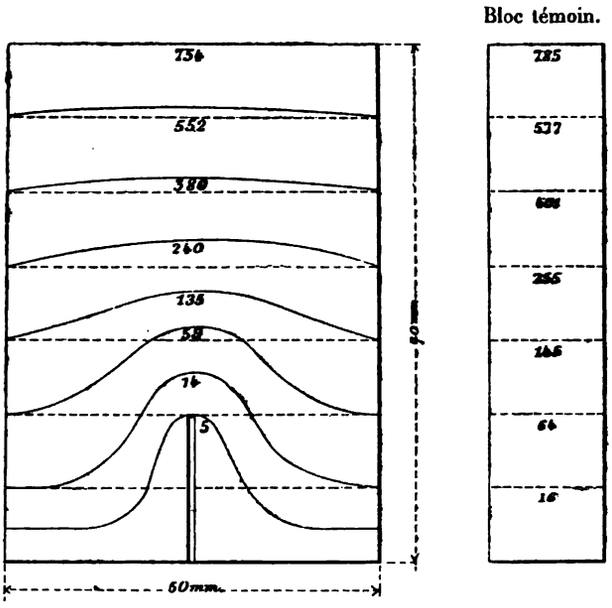


Fig. 6.

de 0 m. 02 de haut. Pour le parallélipipède témoin, la montée d'eau a duré 785 secondes tandis qu'elle n'en a demandé que 754 dans le bloc fendu.

3° Fentes obliques.

Nous avons opéré sur un bloc de 0 m. 05 de largeur et 0 m. 10 de haut, dans lequel a été pratiquée une fente inclinée à 45 degrés, comme l'indique la figure 7.

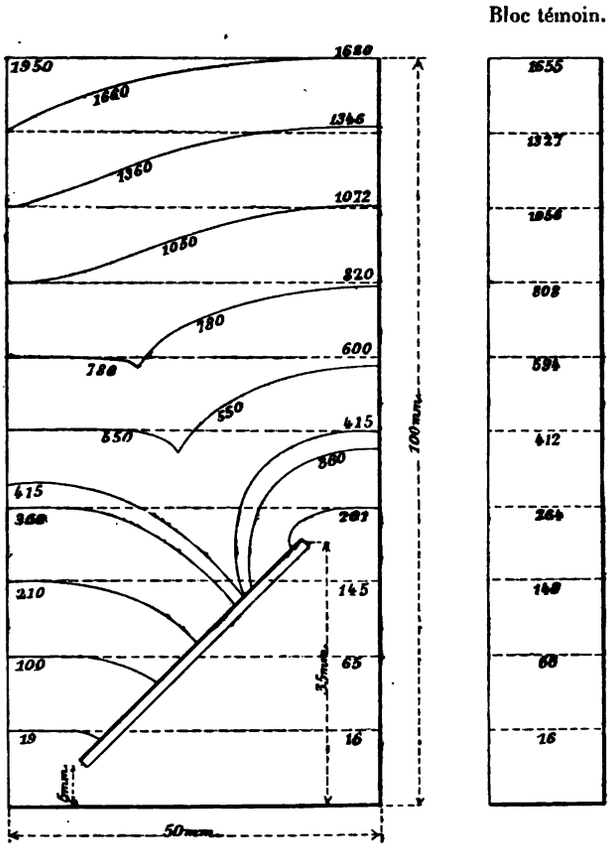


Fig. 7.

L'eau monte plus vite du côté inférieur de la fente et moins vite dans le côté supérieur que dans le parallélipipède témoin; mais, à l'allure des courbes de la figure 7, on peut reconnaître que le niveau de l'eau, dans le bloc, tend à redevenir horizontal. Le temps nécessaire pour que la face supérieure soit entièrement mouillée est de 1.950 secondes, tandis qu'il est de 1.655 secondes dans le bloc témoin.

REMARQUE.

La présence dans une pierre d'un fil dans le sens horizontal ou d'une partie plus dure produit des effets analogues à ceux d'une fente horizontale, mais moins accentués. La même observation s'applique à un fil dans le sens vertical ou oblique.

Action de l'évaporation superficielle.

Toutes les expériences précédentes ont été faites dans l'air saturé d'humidité; pour nous rendre compte de l'action de l'évaporation superficielle, nous avons opéré de la manière suivante : à peu de distance du niveau de l'eau d'un bac à niveau constant, est suspendue une plaque de tôle percée d'une ouverture juste suffisante pour laisser passer le parallélipipède de pierre, celui-ci est entouré d'un cylindre de tôle dont la partie inférieure est percée de trous, de manière à ce qu'il forme cheminée d'appel d'air; à l'intérieur de ce cylindre et autour de la base de la pierre, est placée une rampe de gaz dont la flamme est tenue très basse pour que la pierre s'échauffe peu (fig. 8).

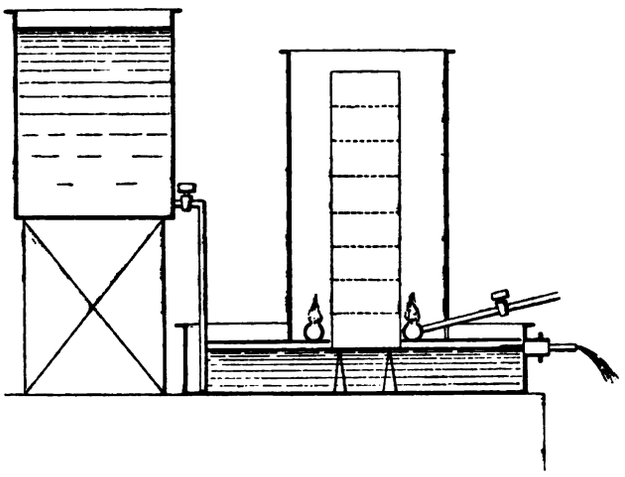


Fig. 8.

La marche du phénomène suit encore une loi analogue; la durée en est un peu augmentée et la quantité d'eau absorbée est moindre que lorsqu'on opère dans l'air humide. En opérant sur l'échantillon n° 3, l'eau n'a atteint la face supérieure de la pierre qu'au bout de 40 minutes, au lieu de 38′ 25″; la quantité d'eau absorbée n'est que de 60 grammes, au lieu de 72. En laissant l'expérience se prolonger, la quantité d'eau absorbée n'a pas dépassé 66 grammes, tandis qu'elle était de 81 grammes dans l'air humide.

Si on emploie une flamme de gaz plus forte, la pierre s'échauffe davantage, la montée de l'eau se ralentit encore, et la quantité d'eau absorbée va en diminuant.

On arrive, avec une flamme assez forte, à ce que l'eau ne monte pas dans la pierre au delà d'une certaine hauteur, la quantité d'eau évaporée étant à ce moment égale à celle qui peut monter dans la pierre pendant le même temps.

En supprimant la rampe de gaz, de manière à n'avoir que l'évaporation naturelle due à l'air, nous avons obtenu des résultats ne différant pas d'une manière appréciable de ceux qu'avait donnés l'expérience faite dans l'air humide. Cela tient sans doute à la courte durée des expériences, en même temps qu'au peu d'importance de l'évaporation. Si on opérait sur des matériaux

dont l'imbibition demande un temps considérable, on constaterait sans doute des différences plus sensibles.

L'évaporation superficielle a donc pour effet de retarder la montée de l'eau d'autant plus qu'elle est plus intense; on peut même prévoir que le niveau de l'eau cessera de s'élever dans une pierre au moment où la quantité d'eau évaporée deviendra égale à celle qui monte pendant le même temps.

Cas où la pierre est déjà humide.

Nous avons imprégné complètement d'eau un parallélipipède, comme pour mesurer sa porosité, puis, en le laissant sécher, nous sommes arrivé à ce qu'il ne renferme plus qu'une certaine quantité uniformément répartie.

Un parallélipipède de 0 m. 15 de hauteur met, lorsqu'il est sec, 2.305 secondes à absorber 72 grammes d'eau; le même bloc, humide et renfermant 30 grammes d'eau, met 1.905 secondes pour en absorber encore 42 grammes. Si on remarque que, dans la première expérience, le bloc sec absorbe les 30 premiers grammes d'eau en 400 secondes, on voit qu'il lui faut, dans les deux cas, le même temps pour absorber les 42 grammes restants.

De même, le bloc sec mettant 2.915 secondes pour absorber 81 grammes, le bloc humide met 2.515 secondes, ou 2.915 — 400, pour absorber 51 grammes.

Le bloc humide absorbant une certaine quantité d'eau dans un temps donné, le bloc sec met le même temps pour absorber cette même quantité, mais après qu'on y a d'abord laissé monter l'eau pendant la première partie de l'expérience à une hauteur correspondant au poids d'eau que renferme le bloc humide.

Cas où les faces latérales de la pierre sont imperméables.

Si les faces latérales du parallélipipède sont rendues imperméables par une couche de peinture à l'huile de lin, l'eau monte moins vite que dans le cas ordinaire.

Ainsi, dans un bloc de 0 m. 10 de hauteur, l'eau atteignait la face supérieure au bout de 1.025 secondes; il en a fallu 1.680 lorsque les faces ont été rendues imperméables.

Ce ralentissement est dû à ce que l'air renfermé dans les pores est obligé, pour laisser la place à l'eau, de s'écouler par la base supérieure seule, en traversant la pierre dans toute sa hauteur, au lieu de pouvoir sortir par la surface latérale tout entière.

Cas où la pierre repose sur du sable mouillé.

L'appareil que nous avons employé se compose d'un bac séparé en deux parties par une paroi en toile métallique fine; l'un des compartiments contient du sable; dans l'autre, arrive de

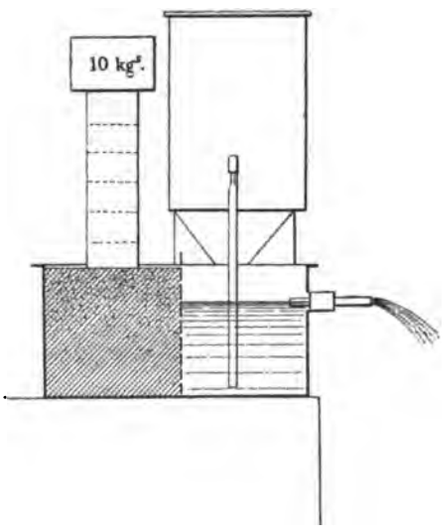


Fig. 9

l'eau, dont le niveau est maintenu constant. Un parallélipipède dont la base a 0 m. 034 × 0 m. 035 est placé debout sur le sable, et sa base supérieure est chargée d'un poids de 10 kilogrammes; nous sommes ainsi dans des conditions analogues à celles d'une fondation (fig. 9). Le sable employé est obtenu en criblant du sable de rivière et prenant tout ce qui passe à la toile métallique dont les mailles ont 0 m. 0025 environ. Le litre de ce sable sec pèse 1 kg. 750; les vides sont les 0,305 du volume total.

Dans une première expérience, le sable était seulement mouillé par l'eau qu'il absorbe par capillarité, le niveau de l'eau étant inférieur de 0 m. 05 à celui du sable. En opérant sur un parallélipipède de 0 m. 05 de hauteur, l'eau n'a atteint la face supérieure qu'au bout de 3 heures 32′, tandis qu'il suffisait de 4′ 15″ en opérant sur de l'eau; le poids d'eau absorbée a été de 20 grammes, au lieu de 24.

Dans une seconde expérience, le sable était complètement imbibé d'eau, le niveau de l'eau dans le bac étant le même que celui du sable; en opérant sur le même parallélipipède, l'eau a atteint la face supérieure au bout de 10′ 40″; le poids d'eau absorbée a été alors de 24 grammes.

Dans les deux cas, le mouvement s'effectue encore suivant une loi donnée par la formule $h = k\sqrt{t}$, *mais la marche du phénomène est d'autant plus retardée que le sable sur lequel repose la pierre est moins mouillé.*

Étude de l'hygroscopicité dans le sens horizontal.

Pour cette étude, le parallélipipède est disposé presque horizontalement avec une légère pente vers l'extrémité par laquelle arrive l'eau; pour produire une nappe d'eau verticale à débit constant, nous avons employé une bande d'étoffe de laine formant siphon placée sur une plaque de zinc (fig. 10); le débit en est réglé par tâtonnements. La bande d'étoffe s'arrête un peu

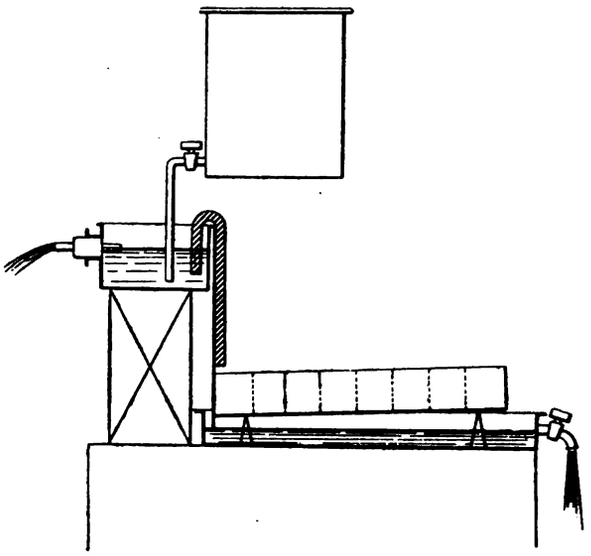


Fig. 10.

au-dessus de la face de la pierre, qui est amenée au moment où le débit est bien établi, presque en contact avec la feuille de zinc.

Le parallélipipède, de 0 m. 15 de longueur, avait absorbé, dans les expériences primitives, 1 g. 26 d'eau pendant la première seconde; nous avons fait débiter au siphon 120 centimètres cubes par minute, soit 2 grammes par seconde.

Le phénomène suit alors une loi analogue à celle que nous avons trouvée dans le cas où le parallélipipède est vertical, mais l'eau progresse moins rapidement; il faut, en effet, 2.670 secondes, au lieu de 2.305, pour que la pierre soit mouillée dans toute sa longueur; *la ligne de séparation de la partie sèche et de la partie mouillée reste perpendiculaire à la longueur du bloc, pendant la première partie de l'expérience; mais elle devient ensuite très légèrement oblique, l'eau avançant plus vite à la*

partie inférieure de la pierre qui est complètement mouillée, alors qu'il reste 0 m. 001 sec à la partie supérieure. La quantité d'eau absorbée au moment où la pierre est mouillée complètement est de 72 grammes, comme lorsque le parallélipipède était vertical.

En refaisant l'expérience avec un débit de 10 centimètres cubes par minute, le phénomène est encore plus retardé, puisqu'il faut alors 3.240 secondes pour que la pierre soit mouillée tout entière; *la quantité d'eau absorbée au bout de ce temps est encore de 72 grammes; la ligne de séparation de la partie sèche et de la partie mouillée est plus oblique que dans le cas précédent;* la partie inférieure étant entièrement mouillée, il reste encore 0 m. 005 secs à la partie supérieure.

RÉSUMÉ.

1. L'hygroscopicité est la propriété que possèdent les matériaux d'absorber par capillarité l'eau qui vient au contact de leurs faces.

2. Lorsqu'on plonge dans l'eau la base d'une pierre de constitution homogène, l'eau y monte peu à peu à des hauteurs proportionnelles aux racines carrées des temps; la ligne de séparation de la partie sèche et de la partie mouillée reste constamment horizontale.

3. La figure et les dimensions de la section mouillée, pas plus que la hauteur de la pierre, n'ont aucune influence sur la marche du phénomène.

4. Tant que la pierre n'est pas mouillée sur toute sa hauteur, la quantité d'eau absorbée est proportionnelle à la hauteur de la partie mouillée.

5. Nous proposons de prendre pour coefficient d'hygroscopicité le poids d'eau qui monte pendant la première seconde dans un bloc de pierre de 1 décimètre carré de section

6. A partir du moment où la pierre est mouillée sur toute sa hauteur, elle continue à absorber une quantité d'eau supplémentaire proportionnelle à son volume; elle met à l'absorber le temps qu'emploierait un bloc de la même pierre, mais plus haut que le premier, mis simultanément en expérience avec lui, pour absorber, à partir du moment où l'eau a mouillé la face supérieure du premier, la quantité d'eau supplémentaire.

7. Les différentes sections de la pierre renferment de moins en moins d'eau, en allant de la base au sommet.

8. Si on interrompt de temps en temps la marche du phénomène, elle se trouve, par ce fait, considérablement retardée.

9. La montée de l'eau est moins rapide lorsque la pierre est posée sur lit que lorsqu'elle est en délit.

10. Une solution de continuité horizontale ou oblique, même très mince, retarde d'autant plus la montée de l'eau qu'elle occupe une plus grande partie de la section transversale de la pierre; une fente verticale, si elle est large, produit les mêmes effets; si elle est assez étroite pour former conduite capillaire, elle active, au contraire, le phénomène. Dans tous les cas, la ligne de séparation de la partie sèche et de la partie mouillée n'est pas horizontale pendant la première partie de l'expérience, mais elle tend à le devenir au bout d'un temps plus ou moins long.

11. L'évaporation superficielle retarde la montée de l'eau, elle peut même l'arrêter complètement; le retard est d'autant plus grand et la quantité d'eau absorbée d'autant moindre que l'évaporation est plus intense.

12. Une pierre déjà humide absorbe une quantité d'eau donnée dans le temps que la même

pierre, mais sèche, mettrait pour absorber la même quantité d'eau après qu'on lui aurait fait d'abord absorber, dans les premiers instants de l'expérience, le poids d'eau que renferme la pierre humide.

13. Si les faces latérales d'une pierre sont imperméables, la montée de l'eau est retardée.

La quantité d'eau totale que renferme la pierre dans ces deux derniers cas, lorsqu'elle est complètement mouillée, est la même que dans le cas ordinaire.

14. Si la pierre repose sur du sable mouillé, la marche du phénomène est retardée; le retard est d'autant plus grand et la quantité d'eau absorbée d'autant moindre que le sable est moins mouillé.

15. Si l'eau coule le long d'une des faces latérales d'une pierre, le phénomène a lieu dans le sens horizontal; sa marche est plus lente que dans le sens vertical et d'autant plus retardée que la quantité d'eau qui coule le long de la pierre est plus petite; la quantité d'eau absorbée reste la même que dans le cas ordinaire; la ligne de séparation de la partie sèche et de la partie mouillée devient oblique, l'eau avançant plus vite à la partie inférieure qu'à la partie supérieure; l'obliquité est d'autant plus accentuée que le phénomène se produit plus lentement.

Paris, le 17 avril 1894.

A. CORDEAU.

LA PERMÉABILITÉ DES MATÉRIAUX

DE CONSTRUCTION.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR MM. ÉMILE TRÉLAT ET A. CORDEAU.

I. — POROSITÉ DES MATÉRIAUX.

Les matériaux sont composés de particules agrégées, plus ou moins rapprochées les unes des autres; les vides existant entre ces particules sont des *pores*.

Le volume apparent d'un *matériau* est l'ensemble du volume des particules qui le composent et du volume des pores.

On nomme *porosité* le rapport du volume des pores au volume apparent du *matériau*.

Conformément aux travaux de la Commission, la porosité se mesure de la manière suivante : on mesure le volume apparent d'un bloc de forme autant que possible régulière, on pèse ce bloc sec; on l'immerge ensuite dans l'eau jusqu'à imbibition complète; de l'augmentation de poids du bloc on déduit le volume des pores.

II. — PERMÉABILITÉ DES MATÉRIAUX.

La *perméabilité* est la propriété que possèdent les matériaux de se laisser traverser par les fluides.

Il y a lieu de distinguer :

1° La perméabilité aux liquides;

2° La perméabilité aux gaz.

La porosité d'un corps implique en général sa perméabilité; toutefois, il n'y a pas propor-

tionnalité nécessaire entre l'une et l'autre. Ainsi deux corps de porosité égale peuvent être inégalement perméables aux liquides et inégalement perméables aux gaz; tout cela est conséquent de la largeur, du nombre et de la disposition des pores.

Il semble que les pores larges laisseront facilement circuler les gaz; les pores étroits, bien que nombreux, leur opposeront une résistance plus grande, mais laisseront passer plus facilement l'eau par capillarité; par exemple, le grès, très compact, est peu perméable aux gaz, mais très perméable à l'eau; le vergelé, au contraire, très poreux et perméable aux gaz, l'est peu à l'eau [1].

Il y aurait lieu de définir la *capacité de perméabilité:* nous proposons de lui attribuer comme valeur le volume du fluide qui traverse le *matériau*, dans une section donnée, dans un temps donné et sous une pression déterminée.

Perméabilité à l'eau.

Des expériences sur les mortiers ont été faites au laboratoire d'essais de Boulogne; d'autres expériences ont été faites sur les mortiers et sur les pierres au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées.

Les travaux de la Commission ont porté sur la perméabilité des mortiers, et la manière de faire les essais a été parfaitement définie.

Dans ces essais, on laisse écouler l'eau par toute la surface de l'éprouvette, ce qui ne permet pas d'évaluer le débit à travers une section déterminée; les résultats obtenus, comparables entre eux, ne sont pas comparables à ceux qu'on obtient en étudiant la perméabilité aux gaz, car, dans les expériences relatives à la perméabilité aux gaz, l'écoulement se fait uniquement par la base de l'éprouvette, et la section de débit est alors exactement définie.

À la question de la perméabilité des matériaux à l'eau se rattache celle de l'*hygroscopicité*, étudiée par M. Poincarré. Il nomme *hygroscopicité* la propriété que possèdent les matériaux d'absorber par capillarité l'eau dans laquelle ils sont partiellement plongés.

En plongeant par leur base, sur un demi-centimètre de hauteur, des parallélipipèdes de diverses pierres dans l'eau pure, et notant d'heure en heure l'augmentation de poids, M. Poincarré a constaté que le plus haut degré de saturation a toujours été obtenu au bout de vingt-quatre heures, excepté pour une seule pierre qui l'a atteint en sept heures; l'imbibition, d'abord intense dans les premières heures, se ralentit ensuite très notablement.

Enfin, si on plonge dans l'eau un bloc de pierre et qu'on l'y laisse immergé pendant un temps assez long, ses pores arrivent à se remplir complètement d'eau; si on laisse égoutter cette pierre en la soustrayant à l'évaporation, elle laisse écouler une portion de l'eau qu'elle a absorbée, et une certaine quantité d'eau reste fixée dans ses pores. Cette quantité d'eau a été déterminée pour diverses pierres par Lang, Schürmann et de Witting.

Nous pensons qu'il y aurait lieu d'entreprendre sur ces questions une série d'expériences conduites dans l'ordre suivant, afin de pouvoir opérer sur *une même éprouvette :*

L'éprouvette, de la forme adoptée par la Commission pour les essais de perméabilité des mortiers, serait d'abord desséchée, puis pesée; on mesurerait son volume apparent. Cela fait, on la soumettrait :

1° D'abord à l'expérience de Poincarré, pour déterminer son *hygroscopicité;*

2° En l'immergeant ensuite dans l'eau, de manière à remplir complètement ses pores, on pourrait déterminer sa *porosité;*

3° On laisserait alors égoutter la pierre pendant un temps suffisant, à l'abri de l'évaporation, et on obtiendrait *l'eau fixée dans les pores;*

4° Enfin, dans une dernière expérience, on déterminerait la *perméabilité à l'eau*, en faisant couler au travers de la pierre de l'eau sous une pression déterminée et étudiant le phénomène comme on le fait dans le cas des mortiers.

---

[1] Le professeur Soyka a démontré pour des sables secs, que la perméabilité aux gaz croît avec la largeur des pores.

Perméabilité aux gaz.

La perméabilité aux gaz des matériaux de construction a été mise en évidence par les expériences de Pettenkofer et ensuite par les recherches de Märker, de Lang, de van Overbeck, de Meyer, de Fodor, de Poincarré, du docteur Layet, de M. Hudelo et de M. Somasco.

Les résultats donnés par Märker ont été trouvés trop forts par Schürmann et par M. Hudelo et M. Somasco; ils dépassaient d'ailleurs ceux déjà anciens donnés par Pettenkofer. Lang a cherché à classer les matériaux d'après leur perméabilité pour l'air.

Enfin, le professeur Layet a modifié l'expérience de M. Pettenkofer en employant, au lieu d'air, du gaz d'éclairage qu'on allume à sa sortie de la pierre.

Expériences de M. Hudelo (1870).

Ces expériences ont été faites sur des murs en briques hourdés en terre à four, de 0 m. 22 ou de 0 m. 46 d'épaisseur, secs ou mouillés, enduits ou non; sur un mur de 0 m. 11 hourdé au plâtre, et sur un mur en meulières de 0 m. 18, hourdé en ciment, avec enduit de ciment des deux côtés.

Les expériences ont été faites par aspiration ou par refoulement, sous des pressions variant de 0 m. 0021 à 0 m.043 d'eau.

Les résultats obtenus peuvent se résumer de la manière suivante :

1° Il n'y a pas de différence appréciable entre les résultats obtenus, qu'on agisse par appel ou par refoulement d'air.

2° La quantité d'air qui traverse un mur est, dans des limites peu étendues, sensiblement proportionnelle à la différence de pression.

L'influence du vent agissant sur la face d'un mur avec une vitesse de 12 à 15 mètres est sensiblement nulle.

3° L'application d'un enduit en plâtre de 0 m. 01 d'épaisseur réduit sensiblement au tiers de ce qu'elle était la quantité d'air qui traverse le mur; il y a tendance à obtenir un effet plus marqué quand la pression est plus élevée, et l'état de dessiccation de la couche de plâtre, pas plus que son mouillage superficiel, n'influent pas d'une manière appréciable sur la quantité observée.

4° La quantité d'air qui traverse le mur diminue quand l'épaisseur augmente, mais cette diminution se fait moins vite qu'en raison inverse de l'épaisseur; lorsque l'épaisseur double, la quantité d'air qui passe reste les trois quarts environ de ce qu'elle était d'abord.

5° L'application d'un enduit sur un mur épais réduit aux quatre dixièmes la quantité d'air qui traversait ce mur; cette réduction est moindre que dans le cas du mur mince.

6° Un mur maçonné au plâtre présente environ trois fois plus de résistance au passage de l'air qu'un mur hourdé en terre à four.

Un enduit sur une seule face réduit aux cinq ou aux six dixièmes de ce qu'elle était la quantité d'air qui traverse le mur. L'influence du second enduit est presque égale à celle du premier.

7° La quantité d'air qui traverse un mur en meulières hourdé en ciment avec enduits de ciment sur les deux faces est faible, mais non négligeable. C'est ce qui explique pourquoi les enveloppes en ciment ne peuvent pas suffire dans le cas où l'on a besoin d'une imperméabilité absolue, comme il le faut pour les silos destinés à la conservation des grains.

Expériences de M. Somasco.

Les résultats de ces expériences ont été donnés par M. Somasco dans une note qu'il a présentée à la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction; nous croyons inutile de les reproduire ici.

Influence de l'état d'humectation des matériaux sur leur perméabilité aux gaz.

La perméabilité aux gaz des matériaux diminue lorsqu'ils sont humides et peut même devenir presque nulle dans certains cas.

M. Hudelo a trouvé, dans ses expériences de 1870, les résultats suivants :

1° Un mur mince étant mouillé extérieurement, la quantité d'air qui le traverse n'est que les quatre dixièmes de celle qui traversait le mur sec.

2° Pour un mur épais mouillé extérieurement, la quantité d'air qui passe est des quatre à cinq dixièmes de celle qui traverse le mur sec, c'est-à-dire un peu moins réduite que dans le cas d'un mur mince.

Il résulte d'expériences faites par Lang à Cassel, en 1879, que, plus le grain du *matériau* est fin, plus l'humidité amoindrit la perméabilité; le tuf calcaire, dont les pores sont très volumineux, ne perd par le mouillage que la moitié environ de sa perméabilité; les briques anglaises en laitier la perdent, dans ces conditions, presque complètement.

L'humectation fait disparaître en grande partie la perméabilité du mortier; le béton et le ciment qui ont subi l'action prolongée de l'eau deviennent définitivement imperméables.

D'autre part, l'air peut se frayer d'autant plus facilement un nouveau passage que les pores sont plus grossiers.

Les briques ordinaires, par exemple, qui s'imprègnent facilement d'eau, l'abandonnent aussi promptement et ne tardent pas à redevenir perméables. Le mortier, au contraire, ne perd que très lentement l'humidité qu'il a absorbée.

L'air humide éprouve plus de difficulté à traverser des matériaux secs dès que leur température est inférieure à la sienne, et, comme la vapeur d'eau se condense à la surface du corps, l'effet est plus marqué qu'on ne pourrait le prévoir.

Lorsque les matériaux humides sont exposés à la gelée, leur perméabilité est réduite, et, dans ce cas encore, cette propriété est affaiblie à un degré supérieur à celui qu'on pourrait prévoir. Cet effet est d'autant plus accentué que le *matériau* est plus compact.

Si on fait passer de l'air sec à travers un corps poreux congelé, la perméabilité augmente peu à peu; elle diminue, au contraire, rapidement si l'air est humide.

Nous pensons qu'il y aurait lieu de faire des expériences sur des matériaux mouillés, mais d'une manière bien définie, et surtout sur des matériaux renfermant toute l'eau qu'ils peuvent absorber par capillarité.

On pourrait, en opérant dans un ordre convenable, faire sur *un même échantillon* toutes les expériences de perméabilité à l'air. Il serait intéressant de voir si l'action prolongée de l'eau sur certains matériaux ne modifie pas leur perméabilité aux gaz, comme cela se produit pour les bétons et les ciments.

Paris, le 17 avril 1894.

ÉMILE TRELAT, A. CORDEAU.

PERMÉABILITÉ DES MATÉRIAUX

DE CONSTRUCTION.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. DEBRAY, AU NOM DE M. CH. SOMASCO.

EXPOSÉ.

En dehors de la porosité intermoléculaire qui résulte de la constitution même de tous les corps, la plupart des matériaux employés dans les constructions possèdent une porosité apparente, une structure spongieuse qui leur donne des propriétés particulières, en ce qui concerne leur faculté d'absorption pour les liquides ou leur perméabilité pour les gaz.

Ce dernier point mérite particulièrement d'être étudié.

La perméabilité des matériaux exerce une influence certaine sur les conditions d'habitation des locaux. En dehors de l'appoint qu'une communication permanente avec l'air extérieur, faite a travers des murs, peut apporter à l'aération artificielle, il peut résulter du voisinage même des murs poreux des modifications plus ou moins profondes dans l'état hygiénique intérieur. Cette porosité apparente, qui fait que nos locaux sont entourés de parois qui contiennent d'innombrables cavités pouvant servir de receptable aux germes de l'air, la propriété qu'ont, d'autre part, les mélanges gazeux de modifier la proportion des éléments qui les composent, en passant au travers de petits orifices, créent des sujets d'examen qui méritent de fixer l'attention des hygiénistes et prouvent qu'à ce point de vue particulier le choix des matériaux n'est pas indifférent.

Il est très difficile, dans l'état actuel de la question, en raison surtout du peu d'expériences faites, de donner des opinions formelles; mais il est utile, néanmoins, de poser les diverses conditions du problème et de réunir les arguments qui militent en faveur d'une étude plus approfondie.

Tel est l'objet de cette note.

Nous nous occuperons spécialement de la mesure et des effets de la perméabilité pour les

gaz, des matériaux dont la porosité apparente est constituée par des petites cavernes visibles, tels que les pierres, les briques, les mortiers, etc. et nous ne tiendrons pas compte de ce qui a rapport à la porosité intermoléculaire qui donne des effets à peine appréciables dans le cas dont il s'agit. Nous considérons donc comme pratiquement étanches les matériaux compacts, comme les métaux, les marbres, les granites et quelquefois les bois.

Cette réserve faite, nous examinerons séparément :

A. *Quelle peut être l'influence de la perméabilité des matériaux sur l'hygiène des locaux habités?*

B. *Quels sont les moyens à employer pour mesurer la perméabilité des matériaux?*

A.

Quelle peut être l'influence de la perméabilité des matériaux sur l'hygiène des locaux habités?

Nos habitations sont des enveloppes immobiles qui doivent nous protéger contre les influences extérieures, ce sont des vêtements fixes, assez vastes pour que nous puissions nous y mouvoir, et, comme nos vêtements, nos maisons doivent être perméables à l'air.

Toutes leurs parties doivent toujours être baignées dans ce milieu oxydant qui est l'agent d'assainissement le plus efficace.

L'effet hygiénique résultant sur toutes choses d'une aération abondante n'est pas à démontrer; bien que difficile à analyser dans ses causes, il est indiscutable dans ses résultats. L'air purifie tout ce qu'il touche: nos vêtements, nos meubles doivent être soumis à son fréquent contact et les murs de nos habitations ne sauraient échapper à cette loi générale.

Cette enveloppe massive qui nous entoure et qui reçoit de notre présence des causes de viciation doit subir, d'autre part, un assainissement permanent et, pour que toutes les parties d'une construction soient soumises à l'action bienfaisante d'une atmosphère renouvelée, il faut que la construction soit perméable.

Il est vrai que les murs poreux ont été accusés de servir de réceptacle naturel aux poussières et aux germes contenus dans l'air, qu'ils peuvent s'imprégner de tous les ferments, constituer un méphitisme local et devenir par eux-mêmes un foyer d'infection. Cette critique a une réelle valeur lorsqu'il s'agit de constructions où les germes nocifs sont accumulés comme dans un hôpital; a-t-elle la même gravité quand il s'agit de l'habitation normale de l'homme bien portant?

Parmi les nombreux germes que l'air tient en suspension, germes que nous ingérons sans cesse par la respiration, il faut bien admettre qu'il n'y a pas que des ferments latents de maladies épidémiques; il n'est pas téméraire de penser que l'air contient aussi de nombreuses particules qui sont peut-être des facteurs nécessaires de notre existence normale et que l'air sans germe n'est pas de l'air parfait.

Et même, en admettant la présence de poussières nocives, n'est-il pas préférable de compter sur le mur poreux qui les retient emprisonnées, que de laisser le germe libre suspendu dans l'air que nous respirons?

Il serait, en tous cas, prématuré d'émettre une appréciation à ce sujet.

Un maître en ces questions, M. Émile Trélat a pensé que l'air, dans l'état de division extrême dans lequel il se trouve en passant au travers de murs poreux, devait avoir des propriétés oxydantes assez intenses pour brûler les particules organisées qu'il rencontre sur son passage. Le mur deviendrait, dans cette hypothèse, un purificateur analogue au sol sur lequel nous vivons, et il semble que cet argument en faveur des murs perméables est une explication nouvelle de l'effet d'assainissement que l'air produit sur tout ce qui se trouve à son contact.

Il y a d'ailleurs d'autres sujets d'examen :

Des expériences nombreuses ont prouvé que les mélanges gazeux qui traversent des corps poreux ou qui s'écoulent par de petits orifices subissent, par le fait même de cette action, des modifications sensibles dans la proportion des éléments qui les composent.

Suivant l'hypothèse physique acceptée aujourd'hui [1], un gaz est constitué par des particules ou atomes solides, sphériques, qui se meuvent en tous sens, mais à des vitesses différentes pour des gaz différents.

---

[1] D. Bernouilli, J. Herepath, Graham, etc.

Enfermés dans un espace clos dont l'enveloppe est poreuse, les gaz qui constituent le mélange sont projetés à des vitesses différentes dans les canaux libres, en raison de leurs mouvements moléculaires et s'échappent au dehors, pendant que, pour la même cause, l'air extérieur s'introduit dans les locaux.

Il y a là une action très appréciable qui se produit en dehors même des pressions, des vents et des mouvements généraux de l'air. Son intensité augmente avec la température et le degré d'éclairement et elle obéit à des lois qui varient suivant la nature de la matière poreuse, son épaisseur et aussi la composition chimique des mélanges gazeux considérés.

Ces divers phénomènes ont été désignés par Graham sous les noms d'*effusion* quand l'écoulement a lieu en mince paroi; de *transpiration* quand les conduits capillaires traversés par les gaz ont une longueur qui dépasse quatre mille fois leur diamètre, ce qui est le cas de la plupart des matériaux calcaires; de *diffusion* si la matière poreuse a une structure très fine comme le plâtre, les terres cuites, etc.

Les expériences de Graham ont des conséquences évidentes au point de vue qui nous occupe.

Les murs poreux se laissent, en effet, traverser inégalement par les éléments du mélange gazeux qui constitue l'air de nos habitations et, lorsqu'on examine les résultats obtenus, on constate que, dans les phénomènes de transpiration et de diffusion, l'acide carbonique et les gaz délétères en général traversent les murs avec une vitesse sensiblement plus grande que celle qui est propre à l'oxygène lui-même, de telle sorte que l'atmosphère intérieure trouve dans la porosité du mur un moyen constant d'épuration et que la filtration de l'air par les parois s'applique d'une façon prépondérante aux gaz qu'il faut surtout évacuer.

Les peintures et les enduits à structure *colloïde* qui semblent assurer l'étanchéité des locaux offrent même; d'après Graham et Draper, une perméabilité particulière pour l'acide carbonique[1], de telle sorte que la présence de ces peintures sur un mur poreux, si elle atténue sensiblement la transmission par le mur, n'empêche pas le passage de l'acide carbonique qui tend à se rendre dans l'atmosphère qui en contient moins.

Il y a, dans ces diverses constatations, des sujets d'études qui méritent de fixer l'attention et il serait à désirer que des expériences fussent entreprises pour élucider des questions qui intéressent au plus haut point l'hygiène de nos habitations.

B.

Quels sont les moyens à employer pour mesurer la perméabilité des matériaux?

Des expériences ont été faites et des chiffres ont été donnés relativement à la quantité d'air qui peut traverser, à des pressions variables, des matériaux d'épaisseurs diverses. Certains chiffres[2] semblent attribuer aux murs de nos habitations une perméabilité très grande et bien que je n'aie suivi les essais d'aucun des expérimentateurs qui se sont occupés de la question, je dois dire que les études que j'ai faites m'ont donné des chiffres sensiblement plus faibles que ceux que l'on peut déduire des expériences antérieures.

Il est vrai que je ne me suis occupé que des très basses pressions pouvant correspondre à celles que les vents et les courants naturels de l'atmosphère permettent d'obtenir.

Mais, en raison de cette divergence dans les conclusions, il serait imprudent de donner des chiffres positifs. La même expérience répétée plusieurs fois donne souvent des résultats variables suivant l'état hygrométrique extérieur, la température et aussi la composition chimique du mélange gazeux considéré.

Je me bornerai donc à donner la description de l'appareil dont je me suis servi et les quelques résultats que j'ai obtenus.

J'ai pensé que, pour opérer avec une certaine précision et avoir des résultats probants, il fallait expérimenter, non sur des grandes surfaces, mais sur des surfaces restreintes. Je n'em-

(1) En prenant pour unité la vitesse avec laquelle l'azote traverse un corps à structure colloïde, la vitesse de pénétration de ce corps est 13,585 pour l'acide carbonique alors qu'elle n'est que de 1,149 pour l'air atmosphérique (Graham).

(2) Il faut citer, parmi les expériences faites, celles de MM. Märker, Pettenkoffer et les essais plus récents de M. Hudelo.

ployais, par ce moyen, que des volumes d'air facilement mesurables et j'évitais les pertes par la non-étanchéité souvent inévitable dans les grands appareils.

J'ai été conduit à prendre pour unité de surface de transmission un cercle de 0 m. 10 de diamètre, à considérer 10 litres de gaz pour unité de volume à faire traverser, et prendre comme base de mesurage le temps nécessaire pour que 10 litres de gaz passent au travers d'un cylindre, étanche sur ses génératrices, perméable à ses bases, ayant 0 m. 10 de diamètre, d'une hauteur variable et construit avec des matériaux divers, l'expérience ayant lieu sous des pressions constantes et déterminées.

Ceci dit, voici la disposition, d'ailleurs fort simple, de l'appareil :

A. Cylindre construit avec la matière dont on veut examiner la perméabilité; il a exactement 0 m. 10 de diamètre et une hauteur variant suivant chaque expérience, il est soigneusement enduit sur toute la partie cylindrique à l'aide d'une peinture imperméable obtenue, soit avec du collodion riciné, soit avec trois couches superposées d'huile de lin cuite; les deux bases sont, au contraire, soigneusement nettoyées avant chaque expérience, de façon que la matière soit mise à nue.

B, C. Deux calottes hémisphériques en fonte de fer, réunies par leurs bases au moyen de boulons de serrage *b, b*.

Elles embrassent le cylindre A avec lequel elles sont lutées par une très mince quantité de mastic de céruse.

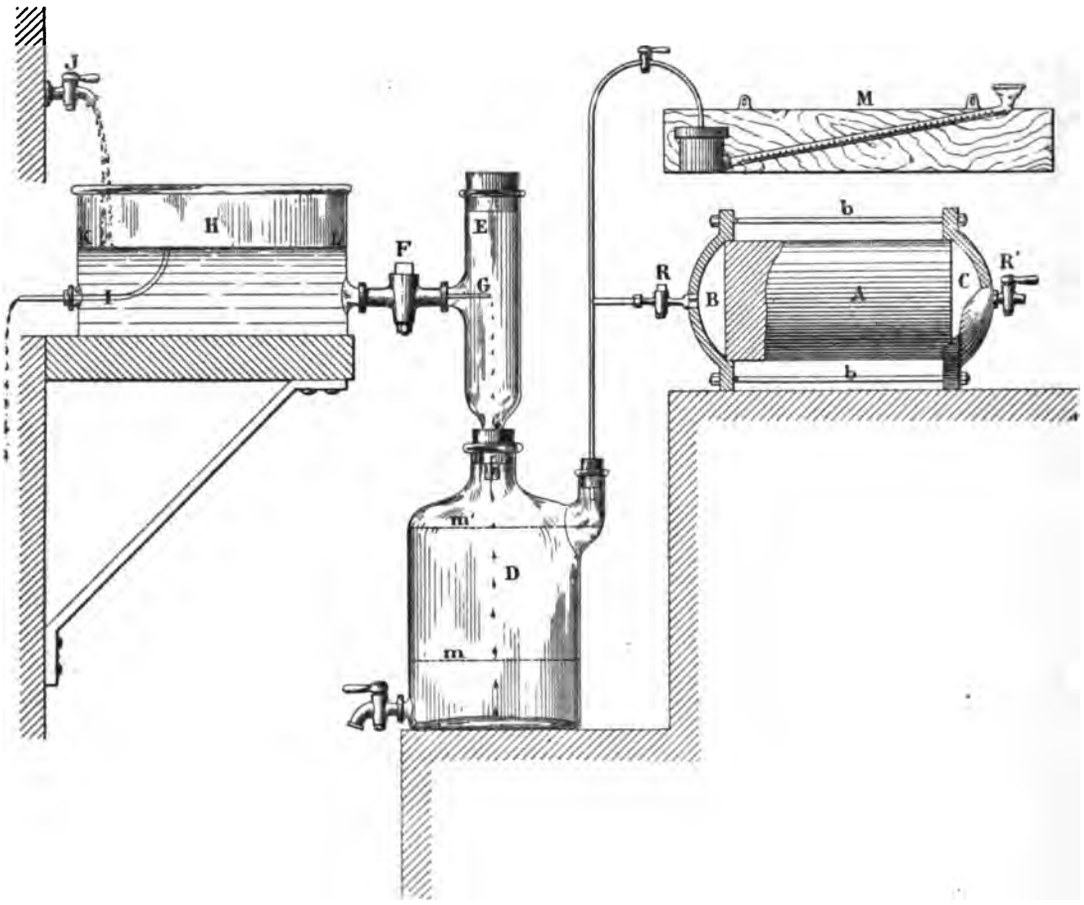
Les calottes en fonte de fer sont rendues imperméables par une cuisson dans l'huile de lin.

Elles sont percées chacune d'un trou muni d'un robinet R, R'.

D. Flacon en verre jaugeant exactement 10 litres de la ligne *m* à la ligne *m'*.

E. Rallonge du flacon D.

H. Vase contenant de l'eau et alimenté d'une façon surabondante par le robinet J. Le trop-



plein s'écoule par un tuyau recourbé I d'un débit plus grand que le robinet J et par l'ajutage effilé G.

Le tube I et l'ajutage G sont exactement au même niveau. Le tuyau I peut tourner dans son

ajutage de façon que la partie recourbée du tube puisse prendre toutes les positions autour d'un point de centre placé sur la ligne de niveau IG. Par ce moyen, on peut régler le niveau d'écoulement du vase H depuis la ligne IG jusqu'au niveau supérieur KL correspondant à la plus grande hauteur de la partie recourbée du tube I. Dans l'expérience, le tube I a un coude de 0 m. 03 de telle sorte que la pression d'écoulement en G est réglable depuis 0 jusqu'à 0 m. 03 d'eau.

Pour commencer l'expérience, on met l'eau dans le vase D au niveau *m*, on ferme le robinet R', on ouvre les robinets J, F, R; si l'appareil est en bon état, il n'entre que quelques gouttes d'eau dans le vase D par l'ajutage G, l'écoulement s'arrête et le manomètre M indique une pression constante en millimètres d'eau.

Au bout d'un certain temps, si aucun écoulement ne s'est produit, on ouvre le robinet R' et l'expérience commence.

On marque le temps;

On arrête l'expérience quand le niveau atteint *m'* dans le vase D;

On marque le temps;

Et connaissant en secondes le temps nécessaire pour faire passer 10 litres d'air au travers d'une section qui a exactement 0 m². 0078; on déduit la quantité d'air en litres V passant par heure dans un mètre carré de la matière considérée à l'aide de la formule

$$V = \frac{10 \times 3.600 \times 10.000}{n \times 78},$$

n étant le nombre de secondes résultant de l'expérience.

Voici quelques résultats obtenus :

J'ai essayé successivement :

1° des pierres de liais de 0 m. 01 à 0 m. 05 et 0 m. 20 d'épaisseur;

2° des pierres tendres de Chantilly de 0 m. 05 et de 0 m. 25 d'épaisseur;

3° des briques demi-dures de 0 m. 06 d'épaisseur;

4° des marbres Sainte-Anne belges, de 0 m. 01 et 0 m. 10 d'épaisseur;

5° du bois de sapin très sec, perpendiculairement aux fibres, de 0 m. 03 d'épaisseur;

6° du bois de chêne très sec dans le sens des fibres de 0 m. 15 d'épaisseur:

7° un disque en plâtre séché à l'étuve, de 0 m. 10 d'épaisseur;

8° le même disque peint avec deux couches d'huile sur une de ses bases.

Chaque expérience a été faite à trois pressions différentes comprises entre 0 m. 001 et 0 m. 03 d'eau.

Les conclusions générales sont celles-ci :

1° La quantité d'air qui passe est sensiblement proportionnelle à la pression et cela évite de multiplier les essais à ce point de vue, car il suffit de considérer une pression unique. Elle n'est pas inversement proportionnelle à l'épaisseur.

2° La quantité d'air qui passe dans l'appareil demande sensiblement le même temps à la fin de l'expérience qu'au commencement, c'est-à-dire que je n'ai pas constaté de cause d'obstruction apparente provenant des poussières de l'air qui devaient d'ailleurs être très peu nombreuses à l'intérieur du flacon.

Il faut tenir compte de circonstances accessoires assez nombreuses, car j'ai fait trois expériences sur un cylindre en pierre de Chantilly de 0 m. 25 d'épaisseur dans des conditions d'hygrométricité variées et j'ai obtenu des résultats assez différents, c'est-à-dire qu'il m'a fallu successivement 1 heure 40 minutes, 1 heure 20 minutes, 1 heure 3 minutes pour faire passer 10 litres d'air sous une pression de 0 m. 03 d'eau.

En ce qui concerne le point important de la mesure de la perméabilité, je puis donner les chiffres suivants :

Il passe sous une pression constante de 0 m. 03 d'eau, au travers d'une pierre de liais de 0 m. 01 d'épaisseur, environ 2.700 litres d'air par heure et par mètre carré. Cette quantité n'est réduite que de moitié environ (1.400 litres) pour une épaisseur cinq fois plus grande (0 m. 05). Elle est d'environ 800 litres pour une pierre de 0 m. 20 d'épaisseur.

La pierre de Chantilly est un peu plus perméable que le liais. J'ai atteint 1 mètre cube par heure et par mètre carré pour une épaisseur de 0 m. 25 sous une pression de 0 m. 03 d'eau.

Les briques demi-dures peuvent être considérées comme analogues à la pierre de liais.

Les marbres, les bois dans le sens perpendiculaire aux fibres n'ont, au contraire, à la pression de 0 m. 03 d'eau, aucune porosité appréciable.

Le plâtre sec, épaisseur 0 m. 10, laisse passer 1.200 litres d'air par heure et par mètre carré et devient presque imperméable avec deux couches de peinture.

Ces quelques constatations prouvent que les matériaux usuels ont, pour l'air atmosphérique, une perméabilité assez grande, pour qu'il ne soit pas permis de négliger l'appoint que l'enveloppe extérieure apporte à l'aération générale de nos habitations.

L'appareil que nous avons employé permettrait, en opérant avec des matériaux divers, dans des conditions de température, d'hygrométricité et de composition chimique déterminées, de fixer, aussi exactement que possible, l'influence qu'il convient d'attribuer à cette propriété particulière d'un grand nombre de matériaux.

Creil, le 12 janvier 1894.

CH. SOMASCO.

BIBLIOGRAPHIE.

TH. GRAHAM. — *Des mouvements moléculaires des gaz.* (*Annales de chimie et de physique*, 1864.)

J.-L. PETTENKOFFER. — *Zeitschrift für Biologie.* (1867.)

TH. GRAHAM. — *Sur l'absorption et la séparation dialytique des gaz.* (*Annales de chimie et de physique*, 1867.)

SCHULTZE et MARKER. — *Henneberg's Journal für Landwirtshchaft. Ueber den Kohlensäuregaht der Stallfult und den Luftwechsel in Stallungen.* (1869.).

HUDELO. — *Note sur le passage de l'air à travers les murs sous les faibles pressions.* (*Bulletin de l'Association des anciens élèves de l'École centrale*, 1870.)

MAX MARKER. — *Recherches sur la ventilation naturelle et la ventilation artificielle, principalement dans les étables, ainsi que sur la porosité de quelques matériaux de construction.* (Traduit par J. Leyder, professeur à l'Institut agricole de l'État, à Gembloux, 1873.)

L. POINCARRÉ. — *Sur l'hygroscopicité des matériaux de construction.* (*Annales d'hygiène*, année 1881, p. 36.)

A. LAYET. — *De la porosité des matériaux de construction.* (*Revue d'hygiène*, année 1881, p. 461.)

L. POINCARRÉ. — *Recherches sur les conditions hygiéniques des matériaux de construction.* (*Annales d'hygiène*, année 1882, p. 173.)

E. TRÉLAT. — *Influence exercée par la porosité des murs sur la salubrité des habitations, et précautions qu'elle suggère.* (Congrès international d'hygiène de Genève, *Compte rendu*, 1883, p. 361.)

J. VIOLLE. — *Cours de physique*, tome Ier, livre IV, chapitre 3. (1883.)

ARNOULD. — *Nouveaux éléments d'hygiène*, 2e édition. (1889.)

MÉTHODES D'ESSAI

DES

SCHISTES ARDOISIERS POUR COUVERTURES.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. PIERRE LARIVIÈRE.

Le schiste ardoisier est employé dans la construction :

1° Sous forme d'ardoises de couvertures (c'est l'application la plus générale);

2° Sous forme de dalles pour revêtements, carrelages, escaliers, bancs, tables, cuves à bière, à eau, à acides, éviers, mangeoires, etc.

Les essais doivent varier suivant l'emploi auquel le schiste est destiné.

Nous ne nous occuperons que des essais concernant les ardoises pour couvertures, renvoyant au rapport de M. Gautier pour les essais à faire sur les ardoises employées comme pierres de construction.

Les qualités principales d'une bonne ardoise de couvertures sont : la solidité et la durée sous l'influence des agents atmosphériques.

Pour qu'une ardoise placée sur un toit soit solide, il faut qu'une fois clouée ou agrafée elle présente encore une résistance à la rupture transversale ou à la flexion et une élasticité suffisantes.

L'*essai de résistance à la rupture par flexion* et la *détermination de l'élasticité* permettront d'apprécier cette solidité.

Pour que l'ardoise soit durable il faut que l'action des agents atmosphériques naturels (vent, pluie, gelée, etc.) ou accidentels (vapeurs acides provenant des foyers) n'en modifient pas la nature.

L'ardoise est en général peu poreuse et l'eau qu'elle absorbe lorsqu'elle est plongée dans ce liquide ou arrosée par lui pénètre surtout par les tranches, s'interposant ainsi entre les lamelles du clivage.

Dans ces conditions, les procédés employés pour étudier l'action de la gelée sur les pierres ne paraissent pas susceptibles de donner d'indication précise pour l'ardoise car celle-ci ne de-

vient réellement poreuse que si elle se décompose sous l'influence des agents atmosphériques; c'est donc surtout l'influence de ces agents qu'il importerait de préciser. Malheureusement, pas plus que pour les pierres, il n'existe de procédés permettant de déterminer la résistance de l'ardoise à ces différents agents. La pratique seule peut fixer à ce sujet.

Toutefois, d'une manière générale, on peut dire que la durée d'une ardoise semble liée à sa teneur en pyrite et en carbonate de chaux. La pyrite cristallisée est moins nuisible que celle qui peut exister disséminée dans la pâte, et dont la présence n'est souvent décelée que par la décomposition générale qui se produit à la longue.

L'*analyse chimique* fournira donc de précieux renseignements.

La fente du schiste ardoisier ne pouvant être exécutée dans des conditions normales que par des ouvriers spéciaux et sur la carrière même, il importe que les éprouvettes soient prélevées sur les produits fabriqués.

CONCLUSIONS.

Nous basant sur les méthodes généralement suivies, nous proposons de fixer les règles ci-après pour l'essai des schistes ardoisiers pour couvertures.

ÉCHANTILLONS.

Les échantillons de schistes adressés à un laboratoire d'essais seront accompagnés d'une note faisant connaître le nom commercial de l'ardoise, la carrière et la veine ou couche d'où ils ont été extraits; on y joindra, autant que possible, une coupe de la carrière représentant la succession et l'épaisseur des veines et les emplacements où ont été pris les échantillons. On indiquera la formation géologique à laquelle appartient la carrière et les fossiles caractéristiques (d'après les divers auteurs), la couleur, les taches s'il y a lieu, les minéraux disséminés dans la pâte, tels que la pyrite cristallisée ou en dendrites, le carbonate de chaux, le mica, la magnétite. On indiquera de plus si le clivage est terreux, uniforme ou zoné; si la cassure est grenue, schisteuse ou très schisteuse, si le schiste présente un « long grain » c'est-à-dire la propriété de se débiter suivant un plan perpendiculaire au clivage et parallèle au fil de pierre; enfin s'il peut être clivé suivant un plan perpendiculaire à la schistosité et au fil de pierre, c'est à-dire « querné » suivant l'expression des chantiers.

Le laboratoire d'essai contrôlera l'exactitude des renseignements donnés sur les caractères apparents des échantillons tels que la couleur, la cassure, le clivage; il sera fait mention de ces vérifications dans le procès-verbal d'essai.

ÉPROUVETTES.

Les éprouvettes d'essai seront prélevées sur des produits fabriqués restés entiers.

Chaque essai portera au moins sur 6 ardoises provenant des mêmes couches, choisies parmi celles dont l'épaisseur est la plus régulière. On considérera surtout la valeur moyenne des résultats obtenus.

Pour obtenir ces éprouvettes, les ardoises seront débitées au laboratoire à la scie ou au fil, et non au marteau, afin d'éviter les fentes; les faces provenant du clivage seront laissées en leur état naturel.

Les éprouvettes seront prélevées dans les parties où les ardoises présentent une épaisseur sensiblement uniforme, les unes parallèlement au grand côté, les autres parallèlement au petit côté.

Les éprouvettes pourront être essayées soit seulement à l'état sec, soit à l'état mouillé et à divers degrés d'imbibition. Le degré d'imbibition sera indiqué par la comparaison de leur poids à sec et après imbibition.

Les procès-verbaux d'essai indiqueront l'état dans lequel les éprouvettes auront été expérimentées (sec ou mouillé) ainsi que le sens de l'ardoise suivant lequel elles auront été découpées.

Pour amener les éprouvettes à l'état sec, on les exposera dans une étuve ou dans tout autre appareil ou même à l'air libre à une température de + 30 à + 40 degrés centigrades, jusqu'à ce que leur poids demeure invariable.

Pour les avoir à divers états d'imbibition, il suffit de les plonger dans l'eau un temps suffisant. On facilite l'absorption en plongeant graduellement les ardoises dans l'eau; au commencement de l'expérience, on les immerge de quelques centimètres, puis, lorsque la capillarité les a imbibées jusqu'à la partie supérieure, on les immerge complètement.

Pour imbiber les éprouvettes d'eau dans un délai suffisamment abrégé, on peut se servir du procédé suivant : on les place sous la cloche d'une machine pneumatique; on fait le vide à des degrés différents; puis on fait entrer l'eau par le sommet de la cloche jusqu'à immersion complète, on remet après quelques minutes l'intérieur de la cloche en communication avec l'air extérieur [1].

RÉSISTANCE À LA RUPTURE PAR FLEXION.

Les essais de résistance à la rupture par flexion se feront au moyen de plaquettes posées sur deux couteaux et chargées en leur milieu d'une façon continue jusqu'à la rupture.

Les essais normaux seront faits avec des plaquettes ayant 0 m. 05 de largeur, 0 m. 21 à 0 m. 22 de longueur, les faces de clivage étant laissées, comme il a été dit plus haut, à l'état naturel.

L'épaisseur de ces plaquettes sera déterminée en prenant la moyenne des différentes épaisseurs, sous le couteau médian, mesurées à un dixième de millimètre près, au moins.

Ces plaquettes seront posées sur deux couteaux de niveau distants de 0 m. 20 et chargées en leur milieu.

On indiquera le poids brut qui déterminera la rupture de chaque éprouvette ainsi que son épaisseur [2].

DÉTERMINATION DE L'ÉLASTICITÉ.

La détermination de l'élasticité se fera sur des plaquettes de mêmes dimensions que celles indiquées pour l'essai de rupture par flexion et choisies de la même manière, posées sur des couteaux distants de 0 m. 20 et chargées en leur milieu.

La lecture des flèches prises sous charge sera faite soit à l'aide d'une vis micrométrique, soit à l'aide d'appareils à levier amplificateur, en prenant toutes précautions pour éviter l'erreur provenant de la pénétration des couteaux dans les ardoises.

Il convient de vérifier si on revient aux même flèches pour des mêmes charges en chargeant et déchargeant plusieurs fois l'éprouvette.

Dans la limité d'élasticité, c'est-à-dire sous des charges pour lesquelles la flèche reste nulle après le déchargement de l'éprouvette, on calculera le module d'élasticité E à l'aide la formule

$$E = \frac{2\,Pl^3}{ybc^3}$$

dans laquelle l désigne le demi-écartement des supports, b la largeur, c l'épaisseur de l'éprouvette, y la flèche correspondant au poids P. Pour $2\,l = 0.20$, $b = 0.05$, la formule devient

$$E = 0.4\,\frac{P}{yc^3}$$

[1] Le vide partiel à faire pour obtenir une imbibition égale à la saturation naturelle amenée par immersion prolongée correspond sensiblement au maintien sous la cloche d'une pression faisant équilibre à une colonne de mercure de 260 millimètres de hauteur.

[2] Si l'on veut comparer les résultats d'essais donnés par des éprouvettes d'épaisseurs différentes; on peut le faire en divisant le produit brut qui a causé la rupture de l'éprouvette par le carré de son épaisseur, les unités étant le kilogramme et le millimètre.

On peut, en effet, admettre que la charge qui déterminera la rupture varie proportionnellement au carré de l'épaisseur lorsque la distance des points d'appui et la largeur de l'éprouvette restent constantes.

DÉTERMINATION DE L'ABSORPTION DE L'EAU.

Le Comité émet le vœu que l'étude de l'absorption de l'eau, soit par la tranche de l'ardoise, soit par sa surface, qui a déjà fait l'objet de recherches intéressantes, soit poursuivie.

Il serait intéressant surtout d'étudier quelle peut être la quantité d'eau absorbée par un mètre carré d'ardoises de couverture fixées à l'aide d'agrafes, comme elles le sont réellement dans la pratique, sur un châssis présentant l'inclinaison minimum adoptée pour ces toitures, en soumettant ce châssis à une pluie régulière d'intensité déterminée et pendant un temps donné [1].

ANALYSE CHIMIQUE [2].

Dans l'analyse des schistes, on déterminera l'eau hygrométrique et l'eau de combinaison, la silice, le fer et l'alumine, la chaux, la magnésie, les alcalis, l'acide carbonique et le soufre.

Paris, le 11 février 1895.

PIERRE LARIVIÈRE.

---

[1] Pour obtenir cette pluie régulière et d'intensité connue, on pourra avoir recours à l'ingénieux appareil imaginé par M. Schlœsing et qui a été utilisé récemment par M. Aimé Girard dans ses recherches sur l'adhérence aux feuilles des plantes de diverses compositions cuivriques employées pour combattre leurs maladies.

[2] A défaut d'analyse chimique on peut encore employer la méthode d'essai recommandée par M. le professeur Brunner de Lausanne pour se rendre compte facilement et rapidement de la qualité des ardoises.

Cette méthode, empruntée à Frésenius, est la suivante : On prend une éprouvette d'ardoise de 0 m. 07 sur 0 m. 03, on la suspend par un fil à coudre dans un vase en verre contenant 100 centimètres cubes d'eau saturée d'acide sulfureux, de manière que l'éprouvette ne plonge pas dans le liquide, puis on ferme le vase et on laisse le tout exposé à la température habituelle.

Une mauvaise ardoise s'altère après quelques jours, même après quelques heures en s'exfoliant. Si elle reste compacte, elle passe à l'état d'éponge friable.

Une bonne ardoise résiste quatre, cinq et six semaines.

Les ardoises de qualité supérieure ne présentent aucune trace d'altération après plusieurs mois.

MÉTHODES D'ESSAI

DES PRODUITS CÉRAMIQUES

(BRIQUES, TUILES, ETC.).

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. ÉMILE BOURRY.

Parmi les produits céramiques (terres cuites, grès et porcelaines) employés dans les constructions, il n'y a guère que les briques et les tuiles qui soient l'objet d'essais spéciaux. En dehors de ces matériaux, il suffit de citer pour mémoire : les carreaux essayés à l'usure et les tuyaux à l'eau sous pression, par des procédés connus.

Les causes qui peuvent amener la désagrégation partielle ou totale des briques et des tuiles sont les suivantes :

1° Causes physiques extérieures : humidité, végétations, gelée, atmosphère saline;

2° Causes mécaniques : surcharge provoquant l'écrasement pour les briques, la rupture par flexion pour les tuiles;

3° Causes chimiques internes : présence dans les matériaux de chaux ou de magnésie et de sels solubles.

Toute brique ou tuile de bonne qualité résiste indéfiniment à ces causes de destruction. Les agents extérieurs ne doivent avoir aucune influence; les briques doivent supporter une charge supérieure à celle qui détermine l'écrasement du mortier; les tuiles doivent résister au poids d'un homme circulant sur la toiture, effort maximum auquel elles soient pratiquement soumises; enfin les terres cuites ne doivent contenir ni chaux, ni magnésie caustique, ni une proportion de sels solubles suffisante pour provoquer une désagrégation.

Les essais faits dans le but de savoir si, ou dans quelle proportion, les briques ou tuiles résistent à ces causes de destruction se classent donc en trois catégories .

1° Essais physiques;

2° Essais mécaniques;

3° Essais chimiques.

Nous allons examiner successivement ces causes de désagrégation et les essais correspondants.

CAUSES PHYSIQUES DE DÉSAGRÉGATION.

Toutes les terres cuites, sauf les grès et les porcelaines sont poreuses. Cette porosité provient de l'évaporation, pendant la dessiccation et la cuisson, de l'eau qui a servi à rendre plastique la pâte argileuse.

Au début de la dessiccation, tant que la terre conserve une certaine plasticité, le départ de l'eau provoque un retrait de la masse, puis, la dessiccation s'avançant, la terre devenant rigide ne peut plus se contracter et il se produit des vides. Ceux-ci augmentent pendant la cuisson, par l'évaporation de l'eau hygrométrique et quelquefois par l'incinération des parties combustibles ou l'élimination de l'acide carbonique des argiles calcaires. Si la cuisson est ensuite poussée à une température plus élevée, il se produit un ramollissement, puis une fusion pâteuse, qui bouche les pores et donne des produits, comme les grès et les porcelaines, intermédiaires entre les terres cuites et les verres.

Cependant cette vitrification ne peut s'obtenir, avec les argiles ordinaires, qu'aux dépens d'une déformation plus ou moins complète des produits, qui les rend inutilisables. Il en résulte que les terres cuites sont forcément poreuses, et c'est cette porosité qui est la cause de l'influence désagrégeante, que peuvent avoir sur elles les agents physiques extérieurs.

Lorsque les terres cuites sont trop friables, qu'elles sont cuites à trop basse température, une *humidité* prolongée ou des pluies fréquentes suffisent pour les désagréger. Dans ces conditions, elles peuvent également se recouvrir de *végétations* dont les racines contribuent à la destruction. Toutes les terres suffisamment cuites sont à l'abri de ces causes de destruction.

La *gelée* a une action plus puissante et plus dangereuse. Par suite d'un abaissement de température, l'eau absorbée préalablement par les terres cuites se solidifie dans l'intérieur des pores. L'augmentation de volume de la glace au moment de la congélation provoque des tensions internes, qui peuvent déterminer l'effritement des surfaces, puis de proche en proche la désagrégation totale.

Pour qu'une terre cuite puisse résister à l'action de la gelée, il faut :

1° Que les parois des pores aient une ténacité suffisante pour supporter la pression de la glace, ce qui s'obtient par un bon dosage des matières premières, et surtout par une cuisson à une température assez élevée;

2° Que les pores soient uniformément répartis dans toute la masse, c'est-à-dire que celle-ci soit homogène sans plans de clivage ou de feuilletage.

Une terre cuite très poreuse, mais homogène et bien cuite, résiste à la gelée; c'est le cas des poteries romaines.

Une terre cuite peu poreuse, également bien cuite, mais ayant une texture feuilletée, est rapidement désagrégée; c'est le cas de certaines tuiles et briques modernes fabriquées par des procédés fautifs.

L'atmosphère saline des bords de la mer exerce une action analogue à celle de la gelée. Il faut l'attribuer à la formation dans l'intérieur des pores de cristaux de sel, qui agissent de la même manière que la glace.

ESSAIS PHYSIQUES.

De ce qui précède, il résulte que ces essais doivent avoir pour but de se rendre compte :

1° Si la terre cuite a une ténacité ou une dureté suffisante;

2° Si la texture est homogène.

Dans les chantiers, la ténacité est appréciée :

1° Par la dureté de la terre cuite, en la rayant avec une pointe d'acier;

2° Par sa sonorité, en la frappant avec un instrument en fer pour les briques, ou simplement avec le doigt pour les tuiles;

3° En heurtant violemment deux briques l'une contre l'autre, ou en les laissant tomber sur un corps dur, pour chercher à les briser.

L'homogénéité de la texture se reconnaît à l'examen de la cassure, les plans de clivage ou de feuilletage étant facilement reconnaissables à l'œil nu.

A ces procédés assez primitifs, on a proposé de substituer les essais suivants :

1° Détermination du poids volumétrique;

2° Détermination du poids spécifique;

3° Détermination de la porosité absolue (déduite des deux chiffres précédents);

4° Détermination du poids d'eau absorbée;

5° Détermination de la perméabilité;

6° Essais de la gélivité.

La manière dont ces essais doivent être faits a été minutieusement arrêtée dans les conférences de Munich et de Berlin, mais nous ne trouvons pas, ceci est notre opinion personnelle, qu'ils remplissent le but proposé.

D'une part nous ne voyons pas les conclusions pratiques que l'on peut tirer des poids volumétrique, spécifique et de la porosité absolue; d'autre part nous regrettons que la ténacité ou la dureté n'y soit pas évaluée et surtout qu'on n'y fasse pas figurer l'examen de la cassure, c'est-à-dire de la structure et de l'homogénéité.

Le poids de l'eau absorbée est, par contre, intéressant à connaître. C'est un essai qui se fait fréquemment dans les chantiers. Il doit avoir pour complément, dans le cas de tuiles, un essai sur la perméabilité. Enfin la résistance à la gelée, déterminée d'après des méthodes connues, a une certaine valeur relative, comme pour d'autres matériaux de construction : les pierres naturelles par exemple.

Les essais physiques auxquels il semble utile de soumettre les briques et les tuiles sont donc les suivants :

Dureté. Celle-ci peut s'évaluer, soit en cherchant à rayer la terre cuite avec différents métaux, soit en faisant des essais de forage, soit par tout autre mode d'expérimentation analogue.

Structure et homogénéité. Celles-ci s'observent en brisant les terres cuites et en examinant la cassure à l'œil ou à la loupe. Il convient de signaler :

1° L'*aspect de la cassure*, soit grenue et à arrachements, indice d'une bonne qualité, soit lisse ou à surfaces conchoïdales, indices d'une faible ténacité et de l'existence de plans de clivage;

2° La *grosseur du grain* en adoptant une classification analogue à celle proposée par M. Gautier pour les pierres naturelles : grain fin, moyen ou grossier;

3° L'*homogénéité*, en faisant les observations suivantes : masse très ou peu homogène, contenant quelques ou beaucoup de rognons avec plans de feuilletage peu ou fortement accentués. Les rognons sont des parties d'argile grasse qui ne sont pas mélangés au reste plus maigre de la masse, par suite d'une préparation insuffisante de la pâte. Quant au feuilletage, il provient de procédés de moulage vicieux.

Gélivité. Cet essai se fait par des méthodes connues, en mesurant la perte de poids et en examinant à la loupe les échantillons après 25 congélations successives.

Poids de l'eau absorbée. Après avoir séché les échantillons, à 110 degrés assez longtemps pour que l'on n'observe plus de perte de poids, on les plonge à moitié dans l'eau pendant 12 heures, puis on les submerge pendant 12 autres heures. L'augmentation de poids est rapportée au poids de l'échantillon sec. Pour des essais plus étendus, on peut, soit employer une machine pneumatique, soit faire durer la submersion 7 jours, puis un mois.

Perméabilité. Cet essai n'a de raison d'être que pour les tuiles. On peut le faire d'après les prescriptions de la Conférence de Berlin. Cependant nous trouvons que celles-ci sont inutilement compliquées. La seule chose qu'il importe de connaître est si les tuiles se laissent traverser par l'eau, en observant que les tuiles perméables se colmatent toujours ultérieurement, par la pénétration dans leurs pores des impuretés atmosphériques et deviennent à la longue à peu près imperméables.

Nous estimons que, pour faire cet essai, il suffit de prendre une tuile entière, saturée d'eau, de la placer horizontalement et de fixer sur sa face supérieure un tube en verre ayant 10 cm²

de section, le joint se faisant au moyen de plâtre ou de ciment prompt. On maintient dans le tube une hauteur d'eau de 10 centimètres, l'eau qui traverse la tuile et tombe en gouttes de sa face inférieure étant recueillie et pesée au bout d'une heure.

ESSAIS MÉCANIQUES.

Sauf de très rares exceptions, comme par exemple dans les hautes cheminées, les *briques* sont exclusivement soumises, dans les constructions, à des efforts de compression. Il y a donc intérêt à connaître leur *résistance à l'écrasement.*

Dans ce but la méthode proposée par M. Tetmajer [1] donne des résultats très concordants.

Les *tuiles* doivent au contraire être essayées à la *rupture par flexion.* L'écartement des supports ne doit pas être fixé invariablement, mais être déterminé par la forme même de la tuile reposant d'un côté sur un liteau et de l'autre sur la tuile inférieure. Les supports ainsi que le couteau médian, qui détermine la rupture, doivent s'appuyer sur des banquettes transversales en ciment portland. Celles-ci ont pour but de niveler les ondulations des tuiles, en répartissant les efforts sur toute leur largeur.

CAUSES CHIMIQUES DE DÉSAGRÉGATION ET ESSAIS CHIMIQUES.

Les argiles contiennent quelquefois des grains de carbonate de chaux ou très rarement de magnésie, qui se transforment en *chaux* ou en *magnésie* caustique pendant la cuisson. Plus tard sous l'influence de l'humidité ou de la pluie, cette chaux ou cette magnésie s'hydrate et augmente de volume en faisant éclater la terre cuite.

Cette action désagrégeante se produit plus ou moins vite, suivant les conditions atmosphériques, mais on peut la hâter par l'immersion dans l'eau bouillante ou dans de la vapeur. Pour cet essai, on peut se servir avec avantage de la marmite de Papin.

Dans les chantiers, une immersion de quelques heures dans l'eau froide, ou mieux dans l'eau bouillante, est suffisante pour dévoiler l'existence de chaux ou de magnésie caustique.

Toutes les terres cuites contiennent une proportion plus ou moins grande de *sels solubles :* sulfates, chlorures, silicates de chaux, de soude, de potasse et de magnésie. Lorsqu'elles sont imbibées d'eau, celle-ci dissout ces sels et en s'évaporant les transporte vers les surfaces, où ils forment des efflorescences, qui peuvent devenir assez importantes pour détacher les enduits dont les terres cuites sont recouvertes et même désagréger les terres cuites elles-mêmes, en provoquant dans leurs pores des cristallisations, agissant comme l'atmosphère saline des bords de la mer.

Pour déterminer la proportion des sels solubles contenus dans les terres cuites, il suffit de faire bouillir pendant une heure dans de l'eau distillée, un poids déterminé d'échantillon réduit en poudre, puis de filtrer, d'évaporer et de peser le résidu. L'analyse qualitative de ces sels n'a guère d'intérêt pratique.

ÉCHANTILLONS.

Les essais des terres cuites doivent toujours se faire sur les produits marchands. Lorsque l'expérimentateur est libre de choisir les échantillons, il doit prendre de préférence les plus faiblement cuits, qui se reconnaissent facilement à l'aspect et plus particulièrement à une moindre dureté et à des dimensions légèrement plus grandes que la moyenne.

Il sera toujours bon de procéder à la mensuration des produits, excellent moyen de se rendre compte de la régularité et de l'uniformité de la fabrication.

On a l'habitude, dans les chantiers, de mesurer d'une part les produits les moins cuits ou les plus grands, et d'autre part les plus cuits, c'est-à-dire ceux qui ont eu le plus de retrait. La différence entre ces dimensions extrêmes ne doit pas être assez importante pour nuire à l'appareillage des briques ou à l'assemblage des tuiles. Cette mensuration se fait le long des arêtes, dans les trois dimensions pour les briques, en longueur et en largeur pour les tuiles.

---

[1] Les briques sont sciées en deux par le milieu de leur longueur, puis les deux fragments sont superposés et réunis au moyen d'une couche mince de ciment portland, de manière à former un ensemble sensiblement cubique.

Il est rare que, dans un même échantillon, les longueurs de deux ou de plusieurs arêtes semblables soient rigoureusement les mêmes. Lorsque ces écarts ne dépassent pas 1/100, il suffit de prendre une moyenne; au delà de cette tolérance, on peut signaler les différences observées.

CONCLUSIONS.

Des renseignements contenus dans le rapport ci-dessus, nous proposons de tirer les conclusions suivantes en ce qui concerne les essais des produits céramiques.

ÉCHANTILLONS.

Les essais des produits céramiques doivent toujours être faits sur les produits marchands.

Si l'on veut connaître le plus exactement possible la valeur d'une fabrication, il convient d'opérer sur des échantillons aux différents degrés de cuisson. On se contente souvent d'examiner les échantillons les plus faiblement cuits qui se reconnaissent facilement à l'aspect et plus particulièrement à une moindre dureté et à des dimensions légèrement plus grandes que la moyenne.

PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES.

On indiquera la marque commerciale des échantillons, leur forme, l'état de leurs arêtes et de leurs surfaces, ainsi que leur couleur.

Pour les briques et les carreaux on mesurera les dimensions dans le sens de la longueur, de la largeur et de l'épaisseur; pour les tuiles on mesurera la longueur et la largeur et on dressera des croquis ou coupes suffisants pour indiquer d'une façon claire les creux et saillies ainsi que les emboîtements que peuvent présenter les échantillons. Enfin pour les tuyaux on mesurera le diamètre intérieur, la longueur utile du tuyau en dehors de l'emboîtement, l'épaisseur de la paroi ainsi que la forme et les dispositions de l'emboîtement s'il y a lieu.

On vérifiera pour les briques et tuiles les dimensions qui, pour une même pièce, devraient être semblables; on signalera l'écart lorsqu'il dépassera 1 p. 100.

Lorsque le laboratoire d'essai aura à sa disposition un nombre suffisant d'échantillons de même provenance, il sera utile qu'il mesure d'une part les plus cuits ou les plus petits et d'autre part les moins cuits ou les plus grands. Il signalera, s'il y a lieu, les différences observées.

ESSAIS PHYSIQUES.

1° Observation de la structure ou de l'homogénéité.

L'observation de la structure ou de l'homogénéité consistera dans l'examen de la cassure, fait à l'œil nu ou à la loupe.

Il conviendra de signaler :

a. L'aspect de la cassure, soit grenue et à arrachements plus ou moins prononcés, soit lisse ou à surface conchoïdale.

b. La grosseur du grain, en indiquant, d'après la classification adoptée pour les pierres de construction naturelles, si le grain est fin, moyen ou grossier, et si les grains sont uniformes ou de dimensions différentes.

c. L'homogénéité, en faisant observer si la masse est entièrement, moyennement ou peu

homogène, s'il existe des plans de feuilletage ou de clivage plus ou moins nombreux, plus ou moins accentués.

2° Poids spécifique.

La détermination du poids spécifique de la matière sera faite sur de la poudre provenant de fragments pulvérisés.

La poudre, ayant passé à travers le tamis de 900 mailles et étant débarrassée des poussières les plus fines au moyen d'un tamisage au travers le tamis de 4,900 mailles, sera desséchée à la température de + 110 degrés.

La détermination du poids spécifique sera faite au moyen du volumètre.

On ne pourra employer d'autre appareil que ceux permettant d'obtenir, dans les conditions d'emploi ordinaires, la première décimale avec certitude et la deuxième avec une approximation de deux unités.

Le liquide dont on se servira sera la benzine ou l'essence minérale.

La température devra rester constante pendant toute la durée de l'opération; elle ne devra pas être supérieure à + 15 degrés.

3° Densité apparente.

Cette détermination devra être faite, autant que possible, sur des échantillons restés entiers, après dessiccation à la température de + 30 à + 40 degrés centigrades.

Quand les échantillons auront une forme géométrique régulière permettant d'en déterminer le volume par mesurage, on se servira d'un pied à coulisse ordinaire donnant l'approximation au dixième de millimètre; le poids sera déterminé au moyen d'une balance sensible au demi-centigramme.

Quand les échantillons seront de forme irrégulière ou présentant des angles rentrants, on déterminera le volume et par suite la densité apparente au moyen de la différence du poids de l'échantillon dans l'air et dans l'eau. On aura soin d'enduire préalablement la surface d'un vernis capable d'empêcher l'entrée de l'eau. Une mince couche de suif fondu, appliquée au pinceau et étendue avec le doigt, remplit très bien ce but.

4° Porosité absolue.

La porosité absolue sera déduite de la différence entre le poids spécifique et la densité apparente.

5° Porosité relative ou poids d'eau absorbée dans un temps déterminé.

La détermination du poids d'eau absorbée se fera sur une série de trois échantillons au moins de même nature préalablement desséchés, soit à l'air libre, soit à l'étuve, à la température de + 30 à + 40 degrés centigrades. Il convient, autant que possible, d'opérer sur des échantillons entiers et non sur des fragments.

Après dessiccation, les échantillons seront immergés dans l'eau jusqu'à la moitié de leur épaisseur pendant 12 heures, puis submergés complètement encore soit pendant 12 heures, 36 heures, 7 jours ou 28 jours [1].

Si les échantillons contiennent une proportion notable de chaux, de magnésie ou de sels solubles, il sera bon de recommencer une ou deux fois l'expérience sur les mêmes échantillons.

La quantité d'eau absorbée ou porosité relative devra toujours être calculée en volume, mais on indiquera aussi le pour cent d'eau en poids.

Dispositions spéciales aux tuiles. — En ce qui concerne les tuiles, le Comité émet le vœu que,

[1] Dans le cas où le temps d'immersion doit dépasser 48 heures, si l'on veut abréger la durée de l'expérience, on peut se servir du procédé d'imbibition à l'aide de la cloche pneumatique tel qu'il est décrit pour les essais des pierres de construction naturelles

comme pour les ardoises de couverture, l'on étudie quelle peut être la quantité d'eau absorbée par un mètre carré de tuiles, fixées comme elles le sont réellement dans la pratique, sur un châssis présentant l'inclinaison minimum adoptée pour ces toitures, en soumettant ce châssis à une pluie régulière d'intensité déterminée pendant un temps donné.

6° Perméabilité.

Tuiles. — L'essai se fera sur au moins 3 tuiles entières préalablement immergées pendant 48 heures, comme il a été dit au paragraphe 5°. On fixera, au moyen de ciment pur, vers le milieu de la face supérieure de chaque tuile, placée horizontalement, un tube en verre de 0 m. 035 de diamètre intérieur et de 0 m. 11 de hauteur. Le tube, fermé à sa partie supérieure par un bouchon en caoutchouc, sera mis en communication avec un réservoir donnant une charge d'eau de 0 m. 10.

On recueillera au moyen d'un réservoir placé sous la face inférieure l'eau qui peut traverser chaque tuile.

La perméabilité sera déterminée par le volume d'eau écoulé pendant une heure, après une durée d'expérience de 24 heures, 7 jours ou 28 jours.

Au début de l'essai, on multipliera les constatations s'il y a lieu.

7° Essais de résistance à la gelée.

L'épreuve de résistance à la gelée devra, autant que possible, porter sur des produits entiers.

On pourra exceptionnellement cependant faire l'essai sur des fragments. Dans ce cas, on devra protéger les parties coupées ou cassées des éprouvettes par un vernis ou une mince couche de suif dans le but de ne laisser libre à la pénétration de l'eau pendant l'immersion que les seules faces des échantillons ordinairement vues.

Les essais de gélivité normaux, dirigés comme il a été dit pour les pierres naturelles, comprendront :

a. L'examen des échantillons avec le secours de la loupe en cherchant à se rendre compte si des gerçures ou des éclatements se sont produits dans ces échantillons après avoir été soumis à l'action de gels et dégels successifs répétés jusqu'à 25 fois.

b. La détermination de la perte de poids des échantillons gelés [1].

Il faut employer pour ces essais au moins :

3 (ou 5) éprouvettes imbibées d'eau par immersion pendant 24 heures;

3 (ou 5) éprouvettes imbibées d'eau à saturation.

ESSAIS MÉCANIQUES.

Briques et matériaux analogues.

1° Résistance à la rupture par l'écrasement.

L'essai de résistance à la rupture par écrasement sera fait sur des morceaux de forme à peu près cubique, obtenus pour les briques ordinaires, par exemple, en superposant deux demi-briques et en les reliant par une mince couche de mortier de ciment portland pur.

Les surfaces de compression seront rendues rigoureusement parallèles par un enduit fait avec une couche de mortier semblable.

[1] Si les échantillons ont supporté sans détériorations les essais de résistance à la gelée, il y aura lieu de comparer les résistances à la compression et à la flexion de ces échantillons, après nouvelle dessiccation : avec celles d'échantillons de même provenance soumis aux mêmes efforts après dessiccation, mais sans avoir subi l'action de la gelée.

Comme pour les pierres de construction naturelles, les essais de résistance à l'écrasement pourront être faits au moyen d'appareils à levier ou au moyen de presses hydrauliques.

Les éprouvettes devront être placées entre les plaques de compression, recouvertes d'une feuille de carton mince; il est utile qu'un des deux plateaux de compression soit mobile dans tous les sens.

Les dimensions des faces portantes seront indiquées dans le procès-verbal d'essai, en même temps que la résistance rapportée au centimètre carré de surface portante.

L'essai portera sur au moins 3 (ou 5) éprouvettes du même échantillon.

La moyenne des résultats fournis sera calculée.

Il sera bon de faire l'essai sur deux séries d'éprouvettes, l'une à l'état desséché, l'autre à l'état d'imbibition, en indiquant le degré d'imbibition.

2° Résistance à la rupture par flexion.

Briques. — Les essais de résistance à la rupture par flexion se feront, pour les briques ordinaires, sur des produits entiers posés sur deux couteaux placés à la distance de 0 m. 20, et chargés en leur milieu d'une façon continue jusqu'à rupture.

On indiquera le poids brut qui déterminera la rupture de chaque éprouvette.

Les produits ayant une longueur plus grande que les briques ordinaires pourront être essayés avec une portée entre les deux couteaux d'appui égale à la portée qu'on donne en pratique à ce genre de produits.

Tuiles. — Les essais de résistance à la rupture par flexion seront faits sur des tuiles entières posées sur deux couteaux, et chargées en leur milieu d'une façon continue jusqu'à rupture.

Lorsque les tuiles n'auront pas un profil rectiligne, on devra établir de petites banquettes transversales horizontales en ciment portland pur, larges de un centimètre, pour recevoir les supports et le couteau médian, dans le but de niveler les ondulations et de répartir les efforts uniformément sur toute sa largeur.

Une de ces banquettes sera placée à l'endroit où dans la couverture la tuile doit s'appuyer sur le liteau, et l'autre à l'endroit où elle repose sur la tuile inférieure.

On indiquera la charge qui aura produit la rupture.

Il sera bon de faire l'essai sur des tuiles imbibées d'eau, en indiquant le degré d'imbibition.

3° Résistance à l'usure par frottement.

La détermination de la résistance à l'usure par frottement sera faite dans les mêmes conditions que pour les pierres de construction naturelles, tant en ce qui concerne la dimension des éprouvettes que pour l'essai proprement dit.

4° Résistance à la rupture par choc.

Les expériences en cours ne permettent pas encore de fixer des règles pour cet essai.

Ces expériences devront être poursuivies.

Essais spéciaux aux tuyaux.

Résistance à la rupture par pression intérieure.

Les essais de résistance à la rupture par pression intérieure seront faits soit à l'aide d'une pompe foulante, soit à l'aide d'un accumulateur hydraulique.

L'unité de pression à adopter est le kilogramme par centimètre carré, et les nombres, à moins de mention contraire, se rapportent à des pressions effectives.

Les tuyaux à essayer doivent être exactement remplis d'eau. Il importe que la pression y soit produite progressivement et sans à-coup. Le manomètre doit accuser sans risque d'erreur la pression qui s'exerce dans le tuyau même.

L'essai pourra être fait soit sur un tuyau isolé, soit sur plusieurs tuyaux assemblés.

Les joints de fermeture des extrémités des tuyaux doivent être disposés de manière à ne pas fuir et faits de telle façon que leur serrage n'amène pas une rupture prématurée des pièces soumises à l'essai.

Le Comité émet le vœu que les essais en cours pour trouver un dispositif commode de fermeture des bouts des tuyaux soient poursuivis.

ESSAIS CHIMIQUES.

1° Recherche de la chaux et de la magnésie.

Dans le but de déterminer s'il existe dans les terres cuites de la chaux ou de la magnésie caustique, on immergera cinq échantillons pendant trois heures dans l'eau bouillante, et on observera si, dans ces circonstances, il s'est produit des exfoliations.

2° Détermination des sels solubles.

Pour déterminer la proportion de sels solubles que peut contenir une terre cuite, on prendra cinq échantillons choisis de préférence dans le milieu des terres cuites, et on les pulvérisera de manière à les faire passer entièrement par le tamis de 900 mailles. On prendra 25 grammes de la poudre ainsi obtenue que l'on fera bouillir pendant une heure dans 250 grammes d'eau distillée, en remplaçant l'eau évaporée; après filtration on évaporera à siccité et on pèsera le résidu obtenu.

Paris, le 6 avril 1895.

Émile BOURRY.

MÉTHODES D'ESSAI DES MATÉRIAUX

EMPLOYÉS À LA CONSTRUCTION DES CHAUSSÉES.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. A. MONMERQUÉ.

CLASSIFICATION DES CHAUSSÉES.

On peut distinguer trois sortes de chaussées, d'après la nature de leur revêtement :

1° Les chaussées empierrées ;

2° Les chaussées pavées ou dallées ;

3° Les chaussées à revêtement lisse et continu, sans joints.

Dans la première sorte de chaussée, on emploie des pierres de toute nature, depuis le calcaire tendre jusqu'au porphyre.

Dans la seconde, on emploie surtout la pierre et le bois, quelquefois les pierres artificielles, les produits céramiques et la fonte.

Les matériaux entrant dans la construction des chaussées à revêtement lisse et continu sont, jusqu'à ce jour, l'asphalte, le bitume et le ciment.

NATURE DES ESSAIS.

Les méthodes d'essai des matériaux, constituant les chaussées, devraient se classer en deux catégories :

1° Essais de la valeur intrinsèque des matériaux proprement dits ;

2° Essais des matériaux en place et employés.

Cette remarque est générale pour tous les matériaux.

Il est certain que les matériaux une fois employés ne fatiguent pas dans les mêmes conditions que dans les essais de laboratoire et, quand il est possible, on complète ces derniers essais par d'autres sur les pièces fabriquées. Mais souvent on ne peut le faire ; dans ce cas les écarts entre les conditions des essais et celles de l'emploi pratique des matériaux sont plus ou moins grands et il ne faut appliquer les conclusions d'un cas à l'autre qu'avec réserve et circonspection.

Cette observation générale s'applique particulièrement aux matériaux des chaussées; les conditions et mode d'emploi des matériaux, la valeur et la nature de la circulation, les conditions climatériques, etc..., sont autant de facteurs qui influeront sur les résultats.

Aussi, il est bien entendu, dans tout ce qui va suivre, que nous ne nous occuperons que de la valeur intrinsèque des matériaux et que les résultats des essais ne devront pas être appliqués tels quels aux chaussées. L'étude de ces dernières constitue un autre travail beaucoup plus étendu pour lequel les essais de la valeur intrinsèque des matériaux ne sont qu'une partie, qu'un élément de renseignements.

Cette observation préalable faite, examinons les essais des matériaux.

MATÉRIAUX D'EMPIERREMENT.

Les matériaux d'empierrement proviennent de pierres cassées, soit uniquement, soit en partie seulement. Quelquefois même les pierres sont employées dans leur état naturel sans cassage préalable.

Prise d'échantillon. — Les conditions de la prise d'échantillon varient avec la nature de la carrière ; si celle-ci est constituée par de gros bancs d'apparence homogène, les échantillons pourront être peu nombreux. Si les bancs sont de diverses natures, les échantillons seront multipliés.

D'une manière générale on peut dire que les échantillons devront être constitués :

1° Par des échantillons des matériaux mêmes d'empierrement, en nombre plus ou moins grand suivant l'homogénéité des matériaux ;

2° Par des échantillons de divers bancs de la carrière, s'il y a lieu.

Il sera toujours utile de joindre un croquis avec description sommaire de la carrière et une notice géologique.

Les essais à faire se partagent en trois catégories :

1° Composition granulométrique ;

2° Composition minéralogique ;

3° Essais proprement dits des diverses pierres.

Composition granulométrique. — La composition granulométrique se fera au moyen de claies diverses inclinées à 45 degrés et offrant des barreaux dont l'écartement diminuera jusqu'à 1 centimètre. Tout ce qui sera au-dessus de cette dimension prendra le nom de cailloux et se décomposera en dimensions variant de centimètre en centimètre.

Au-dessous de cette dimension, le triage se fera au moyen de tamis à tôles perforées horizontaux mus à la main.

De 1 centimètre à 5 millimètres, les matériaux reçoivent le nom de gravier ; au-dessous de 5 millimètres, celui de matières sableuses et terreuses.

Ces matières qui peuvent avoir de l'importance comme agglomérants seront essayées conformément aux règles fixées pour les sables [1].

Composition minéralogique. — On déterminera et on indiquera la nature minéralogique des diverses pierres constituant l'échantillon des matériaux d'empierrement.

Essais proprement dits des diverses pierres. — On prélèvera des échantillons aussi gros que

[1] Publications de la première session. — Tome IV (Section B. — *Rapports particuliers*), page 309.

possible et on les soumettra aux essais suivants, conformément aux règles fixées pour les pierres naturelles :

Densité ;
Dureté ;
Résistance à l'écrasement ;
Porosité ;
Résistance à la gelée.

Il ne paraît pas d'une grande utilité de faire les essais indiqués pour déterminer les résistances à la rupture par flexion ou cisaillement.

Mais il semble intéressant d'ajouter à ces essais pour comparer des matériaux de même nature minéralogique, porphyres entre eux, calcaires entre eux, etc., l'essai à l'appareil Deval tel qu'il est pratiqué au laboratoire de la Ville de Paris. Cet essai pourrait s'appeler : « Essai d'usure par frottement et choc des matériaux les uns sur les autres ». Il se fait comme il est dit à l'annexe A ci-après.

Il semble que l'on pourrait tirer de cet essai des conclusions un peu plus générales, en introduisant un choc dû à un corps étranger. Dans l'appareil Deval, les pierres ne s'usent que par choc et frottement les unes contre les autres. Dans une chaussée soumise à la circulation, on voit bien le frottement et surtout l'écrasement par compression qui se produisent, mais il ne semble pas que le choc de pierres entre elles se réalise.

Cependant les matériaux sont soumis aux nombreux chocs dus à la circulation, par suite des inégalités existant nécessairement sur les chaussées. Ne pourrait-on imiter cet effet en introduisant dans l'appareil Deval des sphères en fonte qui en un temps donné réduiraient en poussière une quantité variable des matériaux ? Il serait probablement intéressant d'entreprendre des études à cet égard.

Matériaux à gangue extérieure. — Les résultats obtenus dans des essais sur des matériaux cassés comme le porphyre, le quartzite, à morceaux homogènes, donneront, quelque imparfaits que soient ces essais, une certaine idée de la valeur des matériaux à employer dans l'empierrement. Ce dernier se composera de ces matériaux, plus des matériaux d'agrégation destinés à boucher les vides, le tout formant des couches plus ou moins épaisses et homogènes et reposant sur un terrain plus ou moins élastique.

Mais quand on a affaire à des matériaux dont un même caillou, constitutif de l'empierrement, n'est pas homogène, les essais sont beaucoup plus difficiles. En effet, d'une part, les échantillons pour les essais proprement dits seront d'une exécution difficile, eu égard à leur petitesse. En outre, ils seront très variables, en raison du manque d'homogénéité. Dans certains échantillons on aura la gangue extérieure généralement plus tendre, pouvant même être friable ; dans d'autres le cœur de la pierre. Pour ce genre de matériaux, la prise d'échantillon et la description de la carrière ont une importance particulière. Il serait utile de pouvoir faire des essais sur les divers éléments constituant la pierre. Comme cette condition sera souvent impossible à réaliser, on choisira des échantillons individuellement aussi homogènes que possible, mais aussi différents que possible les uns des autres. Les résultats seront par suite très différents, et c'est surtout dans ce cas qu'il faudra apporter beaucoup de prudence dans les conclusions.

Il semble que dans ce cas les résultats donnés par l'appareil Deval ne soient guère intéressants au point de vue absolu. Mais l'appareil peut cependant fournir des renseignements utiles si on examine la marche de l'usure. En supposant par exemple des cailloux à enveloppe extérieure friable, l'usure va peu à peu en diminuant et les essais donneront une certaine idée de la gangue et de la pierre même, si on a soin de faire des pesées à intervalles réguliers. Des études pourraient être faites dans ce sens.

L'annexe B donne les résultats d'un certain nombre d'essais, faits avec l'appareil Deval au laboratoire de la Ville de Paris.

PAVAGES ET DALLAGES.

Les chaussées pavées ou dallées sont constituées par des matériaux juxtaposés soit à sec, soit à bain de mortier. Elles peuvent reposer sur simple fondation de sable ou sur une fondation en maçonnerie.

Nous ne pouvons faire ici l'étude de la construction des divers types de chaussées; nous examinerons immédiatement la question des matériaux.

Les pavés, entrant dans la construction des chaussées, sont généralement en pierre ou en bois.

Les dalles, ainsi que les produits céramiques et autres matériaux artificiels, sont généralement réservés aux trottoirs. Cependant, à l'étranger, on a parfois eu recours aux dalles de granite, même pour les chaussées.

Nous ne ferons qu'indiquer pour mémoire les pavés en verre ou en fonte, dont l'emploi paraît jusqu'à présent être assez limité.

Homogénéité des matériaux. — Pour tout pavage ou dallage, il y a une observation générale à faire: la question d'homogénéité des matériaux a une importance capitale. Une chaussée peut être faite avec des matériaux de qualité moyenne et donner de bons résultats, si la fondation est bonne et si les pavés, provenant d'une carrière bien homogène, s'usent également. Il faudra donc étudier la carrière spécialement à ce point de vue.

Il sera utile de multiplier les échantillons et de faire une étude complète de la carrière aux points de vue géologique et minéralogique.

Pavages en pierre.

Les chaussées pavées en pierre sont, dans les villes, les plus nombreuses. Si l'empierrement a pour lui en général l'avantage d'un faible coût d'établissement, il a contre lui les frais élevés annuels d'entretien, la boue et la poussière, défauts qui sont surtout sensibles dans les villes.

A Paris, jusqu'au xve siècle, les rues étaient pavées avec de larges carreaux de pierres dures entremêlés de carreaux de grès. A cette époque l'usage des pavés de grès de Fontainebleau, de Pontoise et de la vallée de l'Yvette commença à se répandre.

Jusqu'en 1833 le seul échantillon en usage fut le 23 cm^3. A partir de cette époque, pour les rues de luxe on commence à employer le 16×23 et le 20^3.

Mais la circulation augmentant, on recherche des roches plus dures. En 1846 on essaye le porphyre de Quenast avec l'échantillon 16×18 et en 1852 avec l'échantillon 10×16.

En 1863 on essaye les grès dévoniens des Ardennes et en 1864 ont lieu les premières fournitures d'arkose du lias.

De 1864 à 1867, on essaye toutes sortes de pierres dures, de provenance française ou étrangère. On réduit les dimensions des échantillons jusqu'à employer le 8×16.

Aujourd'hui les pavés employés à Paris se rapportent à 5 catégories :

I. Les grès durs assimilables aux grès de l'Yvette et provenant des meilleures carrières des vallées de l'Yvette, de la Seine et de l'Essonne, d'Épernon, du département de l'Aisne et de l'arrondissement de Meaux (Seine-et-Marne).

Les échantillons en sont les suivants:

$$\frac{16\times23}{23},\quad \frac{14\times20}{20},\quad \frac{14\times20}{16},\quad \frac{12\times18}{18},\quad \frac{12\times18}{16},\quad \frac{10\times16}{16}.$$

II. Le porphyre belge de Quenast.

Les échantillons sont les mêmes que ci-dessus à l'exception du premier $\frac{16\times23}{23}$ et en y ajoutant le type $\frac{10\times16}{12}$.

III. Le granite des Vosges, comprenant les pavés de granite des Vosges, de Saint-Amé (près Remiremont) et de Granges,

a 3 types d'échantillons savoir :

$$\frac{14\times20}{16},\quad \frac{12\times18}{16},\quad \frac{10\times16}{16}.$$

IV. L'arkose de Saône-et-Loire, comprenant les pavés d'arkose des communes de Saint-Émiland et Antully (arrondissement d'Autun) et de Mornay (arrondissement de Charolles).

Avec les mêmes échantillons que pour le granite des Vosges.

V. Les grès quartzites de l'Ouest, comprenant les pavés des meilleures carrières de grès durs de la Mayenne, de la Sarthe, des Côtes-du-Nord, de l'Orne et de la Manche.

Les échantillons sont :

$$\frac{15\times23}{16},\quad \frac{14\times20}{16},\quad \frac{12\times18}{15},\quad \frac{10\times16}{16}.$$

Le montant annuel moyen des fournitures de pavés neufs à Paris s'élève à 2.400.000 francs en nombre rond et se décompose approximativement de la façon suivante :

I.	Grès durs de l'Yvette ou assimilables	900.000
II.	Porphyre belge	70.000
III.	Granite des Vosges	500.000
IV.	Arkose de Saône-et-Loire	400.000
V.	Grès quartzites de l'Ouest	530.000
	Total pareil	2.400.000

Ces renseignements généraux donnés, passons à la question des essais.

Prise d'échantillon. — Nous la rappelons pour mémoire, insistant sur son importance au point de vue de la question d'homogénéité des pavés.

Essais généraux des pierres. — Il y aura lieu pour les pavés et les dalles de faire les essais généraux indiqués pour les pierres, savoir :

Densité,
Dureté,
Résistance à l'écrasement,
Résistance à la rupture par flexion,
Essais de cisaillement,
Porosité,
Résistance à la gelée.

Il appartient à chaque ingénieur d'apprécier la valeur relative de ces essais suivant la nature du pavé et ses conditions d'emploi.

Les essais de dureté avec l'appareil Dorry[1] ainsi que ceux de la porosité paraissent surtout devoir être recommandés.

Essais au glissement. — Un défaut des pavés, important à vérifier pour la circulation, consiste dans leur facilité plus ou moins grande au glissement. Nous ne savons pas si des expériences ont été déjà entreprises à cet égard : en tout cas elles seraient intéressantes.

Pour se placer plus particulièrement dans les conditions de la pratique, on pourrait probablement, au moins pour les matériaux dont les carrières peuvent fournir d'assez gros échantillons, opérer de la façon suivante :

Établir des éprouvettes de 200 millimètres de longueur et 100 millimètres de largeur ; en polir une face dans des conditions déterminées et constantes ; faire reposer sur cette face un bloc de fer poli à l'émeri à base carrée de 100 millimètres et de hauteur constante à déterminer par l'expérience, et constater quelle est l'inclinaison nécessaire pour le départ du bloc de fer.

On pourrait faire varier les conditions d'imbibition de la pierre.

Nous proposons à la Commission d'émettre un vœu en faveur de l'utilité qu'il y aurait à faire des études et recherches dans cette voie.

[1] Cet appareil est employé au laboratoire de l'École nationale des Ponts et Chaussées ; le premier appareil de ce système a été construit en 1883.

Au laboratoire de la Ville de Paris on emploie depuis 1868 un appareil Deval dont le précédent n'est qu'un perfectionnement.

L'annexe C donne les résultats d'un certain nombre d'essais faits avec l'appareil Deval au laboratoire de la Ville de Paris.

Essais des pavés avant emploi. — En outre des essais que l'on peut faire sur la pierre proprement dite, constituant les pavés, il y a lieu de vérifier les pavés avant emploi.

Cette vérification a une importance capitale, surtout pour les pavés qui se présentent en carrière sous forme de bancs et qui peuvent avoir des fils. Cette question rentre encore dans celle de l'homogénéité.

Pour faire cette vérification on étale généralement les pavés et on les examine individuellement.

Nous sommes d'avis qu'il est utile, toutes les fois qu'on le peut, d'appliquer au moins à une partie de la fourniture les essais suivants, conformément à la pratique suivie par certains ingénieurs :

1° Essais au marteau ;

2° Essais à l'arrosage.

Les essais au marteau consistent à vérifier la compacité et l'homogénéité des pavés par le son produit au choc d'un marteau. Les bons pavés donnent un bruit net et sec ; les autres avec des fils ou très tendres donnent un bruit sourd. La pratique fait acquérir une certaine habileté dans cet essai.

Les essais à l'arrosage ont pour but de vérifier grossièrement la porosité des pavés. Généralement les plus poreux s'usent le plus vite. On arrose aussi régulièrement que possible les pavés étalés les uns à côté des autres et on laisse sécher. Les pavés plus poreux que les autres sont beaucoup plus lents à sécher. On pourra soit les faire ranger ensemble pour en faire une baie spéciale dans le pavage, soit les faire mettre de côté.

Ces essais ne sont qu'approximatifs et ne paraissent pas devoir et pouvoir donner lieu à la fixation de règles précises.

Produits céramiques et autres matériaux.

Les essais indiqués précédemment devront être appliqués pour les pierres artificielles et les produits céramiques, lorsque ces matériaux seront employés pour les chaussées et trottoirs sous forme de pavés et dalles.

Nous ne voyons qu'une observation à faire, relativement à l'homogénéité des matériaux. Cette question est capitale et devra spécialement être étudiée.

PAVAGES EN BOIS [1].

Les exigences du public au point de vue de la circulation vont en croissant; c'est là une des formes de la loi générale d'augmentation des besoins et de la nécessité de les satisfaire qu'on trouve dans toute société au fur et à mesure qu'elle vieillit ; c'est là une des conséquences de ce qu'on appelle le progrès.

L'éclairage électrique se substitue à l'éclairage au gaz qui avait lui-même remplacé le réverbère à l'huile.

Le pavage en bois remplace les pavages en pierres dures de faible échantillon qui avaient constitué un grand progrès sur le 23 cm³.

Les premiers pavages en bois sont déjà anciens, même à Paris [2] ; mais les résultats furent déplorables. On les attribua au gonflement du bois sous l'influence de l'humidité. On leur reprochait aussi de donner lieu à des émanations fétides, dues à l'imprégnation des eaux sales, et à des glissements des chevaux. Bref, en 1876, on était d'avis dans le monde des ingénieurs de réserver les pavages en bois aux surfaces couvertes.

---

[1] Dans ce qui suit, il n'est question que des bois spécialement employés dans les pavages en bois et de leurs essais; il sera utile de se reporter au rapport général de M. Bès de Berc, ingénieur des constructions navales, sur les *Méthodes d'essai des bois*, adopté par le Comité d'études, après discussion, dans les séances des 5 avril et 3 mai 1895.

[2] En 1842, on a fait, rue Richelieu, l'essai d'un pavage en bois, du type Hogdson, constitué par des parallélipipèdes obliques, chevillés et établis sur un béton de chaux de 15 centimètres d'épaisseur.

A la même époque, on a aussi essayé le pavage Rankin, où les pavés en bois avaient la forme de coin.

Essais antérieurs. — Parmi les systèmes de pavages en bois, essayés autrefois, deux seulement méritent d'être mentionnés, le système Trénaunay et le système Norris.

Système Trénaunay. Dans le système Trénaunay [1], les pavés de bois, en forme de parallélipipède oblique à base rectangulaire, présentaient des arêtes inclinées sous un angle d'environ 70 degrés, de sorte que, dans une même rangée transversale, les faces obliques des pavés s'appuyaient les unes sur les autres; la fondation était formée d'une couche de béton de chaux hydraulique d'environ 10 centimètres d'épaisseur et les joints étaient garnis soit en bitume, soit en ciment.

Ce pavage n'a pas donné de bons résultats. Sur la place de l'École de Médecine, où une première application en a été faite, il a fallu, au bout de trois ans, substituer une chaussée asphaltée sur la partie de la surface où se faisait principalement la circulation des voitures. Un pavage de même système existe encore rue Cujas, aux abords de l'École de Droit et du lycée Louis-le-Grand; c'est une voie où la circulation est très faible et cependant il a fallu y faire à plusieurs reprises d'importantes réparations. Ce système a, d'ailleurs, été abandonné, au moins en ce qui concerne l'obliquité des faces latérales des pavés, par son auteur lui-même, qui y a substitué plus tard d'autres procédés dont il sera question ci-après.

Ce premier insuccès fut attribué à tort à ce que les pavés de bois reposaient directement sur une fondation dure et résistante, sans interposition de sable ou d'une matière analogue moins dure que le béton. On a reconnu depuis lors que le bois est assez élastique par lui-même pour pouvoir reposer sans inconvénient sur une fondation monolithique, comme celle que forme une couche suffisamment épaisse de béton de ciment de Portland.

Les causes principales de la prompte détérioration du pavage de la place de l'École de Médecine sont la mauvaise qualité des bois (orme, hêtre et sapin blanc) et l'obliquité des faces à laquelle l'inventeur attachait le plus d'importance. Les fibres du bois, coupées obliquement, ne présentaient plus vers l'angle du biseau qu'une faible résistance aux pressions verticales; elles s'écrasaient plus vite que les fibres de la partie centrale, la face supérieure du pavé s'arrondissait et la chaussée devenait cahotante.

Système Norris. Un peu plus tard, un Américain, M. Norris, fut autorisé à essayer un système dans lequel, pour éviter les prétendus inconvénients d'une fondation indéformable, on faisait reposer des pavés de sapin, imprégnés de coaltar, sur un double plancher en planches goudronnées, où les planches de la seconde couche se croisaient à angles droits avec celles de la première; les joints des pavés, formés à la partie inférieure par des tringles en bois clouées sur le plancher étaient remplis à la partie supérieure d'un béton bitumeux, fait avec du menu gravier; toute la surface du bois était elle-même recouverte de coaltar et de gravillon.

Ce système a été mis en œuvre sur trois points dans des circonstances diverses de circulation et de pente : sur le boulevard Saint-Michel en 1871, sur la rue du Château-d'Eau en 1872, et sur la rue Saint-Georges en 1876. Ces essais n'ont pas été heureux; l'élasticité de la fondation, que l'inventeur considérait comme un avantage, a présenté, au contraire, de gros inconvénients; elle favorisait la formation, sous le plancher, de cavités qui se remplissaient d'eau, ce qui pourrissait le bois et désorganisait les parties correspondantes du revêtement. Le pavage du boulevard Saint-Michel était hors d'usage en 1877, malgré de très nombreuses réparations; on l'a supprimé à cette époque. Celui de la rue du Château-d'Eau a été enlevé au bout de trois ans, et celui de la rue Saint-Georges l'a été en 1883, après refus de l'inventeur d'en assurer l'entretien au prix qu'il avait lui-même fixé lors de l'exécution.

Système de la « Improved Wood Pavement C° ». — C'est en 1881 que la « Improved Wood Pavement Company » de Londres, a proposé de faire à Paris un essai de son système, qui est celui qui a définitivement prévalu.

Les pavés de sapin rouge du Nord sont obtenus en sciant transversalement de 0,15 en 0,15 des madriers des dimensions habituelles du commerce; les pavés, posés debout, de manière que les pressions s'exercent dans le sens des fibres, ont conséquemment une hauteur de 0,15 et une face de 0 m. 08 sur 0 m. 22; ces pavés, après avoir été plongés à l'usine dans un bain de créosote et de goudron, sont amenés sur les chantiers et posés directement sur une fondation en béton de ciment de Portland de 0,15 d'épaisseur, réglée suivant le bombement voulu, au

[1] Rue du Dragon, de 1868 à 1873; rue du Faubourg-Saint-Martin, en 1870, et rue Cujas, en 1872.

moyen du lissage d'une légère couche de mortier. Les pavés de chaque rangée transversale sont placés en contact, mais on réserve, entre les rangées consécutives, des joints de 0 m. 008 de largeur au moyen de lattes d'épaisseur bien uniforme qu'on enlève après la pose; ces joints sont remplis à la base sur environ un tiers de leur hauteur avec du bitume de composition spéciale, coulé à chaud, et à la partie supérieure avec du mortier de ciment de Portland; on répand ensuite sur toute la surface une couche de bon gravier à gros grains sur lequel on laisse la circulation s'effectuer de manière à faire pénétrer une partie de ce gravier dans la tête des pavés.

Premier essai. — Le procédé a été employé pour la première fois à Paris, en octobre 1881, rue Montmartre et boulevard Poissonnière, sur une surface de 3.000 mètres, et peu de temps après dans la rue Rotrou, le long du théâtre de l'Odéon sur une surface de 350 mètres.

La pente, à peu près nulle rue Montmartre, est de 0,02 rue Rotrou et de 0,03 boulevard Poissonnière.

Les résultats furent satisfaisants et les essais furent rapidement généralisés à la Ville par voie de concessions de 18 années, moyennant le payement par annuités comprenant l'intérêt et l'amortissement du capital et les frais annuels d'entretien.

Depuis 1886 la Ville de Paris exécute elle-même les pavages en bois, la fondation est faite à l'entreprise et le pavage même exécuté et entretenu en régie.

Extension des pavages en bois. — Le tableau suivant indique les accroissements annuels des surfaces de pavage en bois dans Paris.

ANNÉES.	SURFACES DE PAVAGE EN BOIS EXÉCUTÉES À PARIS (en mètres carrés)		
	par des concessionnaires.	par la Ville même.	TOTALES.
1882	18.837, 30	2.002, 77	21.840, 07
1883	41.665, 44	1.949, 58	43.615, 02
1884	215.805, 75	"	215.805, 75
1885	72.712, 91	1.473, 58	74.186, 49
1886	54.865, 82	18.708, 44	73.574, 26
1887	357, 90	9.049, 07	9.406, 97
1888	"	8.432, 87	8.432, 87
1889	"	40.296, 91	40.296, 91
1890	8.955, 81	37.772, 43	46.728, 24
1891	11.070, 54	51.282, 43	62.352, 97
1892	1.421, 48	78.629, 87	80.051, 35
1893	228, 00	92.992, 87	92.764, 87
1894	15.294, 27	60.862, 70	76.156, 97
TOTAUX au 1er janvier 1895	440.709, 22	404.453, 52	845.212, 74
	845.212, 74		

Bois employés. — Les bois employés sont le sapin du Nord, le pin des Landes, dont un cinquième ayant subi l'opération du gemmage, le pitchpin et divers sapins de pays.

Les bois sont achetés par voie de marché de gré à gré, sous forme de madriers et débités à Paris dans une usine appartenant à la Ville.

A l'exemple de Londres, on a employé à titre d'essai des bois durs exotiques de la famille des eucalyptus (karri, jarrah), des teaks et du bois de fer[1]. Dans cette ville, le pavage en bois

[1] La surface actuellement exécutée avec ces bois est égale à 50.000 mètres carrés en nombre rond.

couvre une surface considérable et le bois dur y est employé déjà depuis cinq ans. D'après les ingénieurs anglais, l'usure serait moitié moindre. A Paris ces bois exotiques coûtent le double du pin des Landes, mais même, s'il n'y a pas économie d'argent, on espère y trouver l'avantage de réduire la gêne causée à l'énorme circulation par l'exécution des travaux de réparation.

Prix des chaussées de diverses natures. — Au point de vue de l'établissement, sans tenir compte des frais de démolition et d'enlèvement de l'ancienne chaussée, les prix moyens à Paris sont les suivants :

Pavage en grès de l'Yvette sur sable, le mètre carré	16f,30c
Pavage en quartzite de l'Ouest sur sable, le mètre carré	18, 50
Pavage en quartzite de l'Ouest sur béton, le mètre carré	22, 50
Pavage en bois, le mètre carré [1]	18, 30 [2]
Asphalte comprimé de 0 m. 05 d'épaisseur sur béton de 0 m. 15 d'épaisseur, le mètre carré	15, 30 [3]

On peut estimer que les frais d'entretien par an, nettoiement non compris, ressortent en moyenne aux chiffres suivants :

Pavage en grès de l'Yvette sur sable (prix moyen dans des voies de fréquentation moyenne) le mètre carré	0f,80c
Pavage en quartzite de l'Ouest sur sable (prix moyen dans les voies fréquentées), le mètre carré	1, 10
Pavage en quartzite de l'Ouest sur béton (prix moyen dans des voies très fréquentées), le mètre carré	1, 25
Pavage en bois (prix moyen dans des voies de fréquentation moyenne), le mètre carré	1, 50
Asphalte comprimé sur béton de 0 m. 15 d'épaisseur (prix forfaitaire pour toutes les voies asphaltées), le mètre carré	1, 35

Mode actuel d'exécution des pavages en bois. — Aujourd'hui, pour l'exécution du pavage en bois par la Ville, on a réduit généralement l'épaisseur de la fondation à 0 m. 15 et les joints sont entièrement coulés en Portland à l'exclusion du brai. Les pavés sont posés jointifs et les rangées sont séparées par des réglettes de façon à donner des joints parallèles perpendiculaires à l'axe de la chaussée avec une largeur de 10 millimètres environ.

Les rives sont limitées généralement par deux ou quelquefois trois rangées de pavés, posés parallèlement aux bordures de trottoirs, avec un vide de 5 à 7 centimètres contre la bordure. Ce vide est rempli de sable fin aussitôt après l'exécution.

Le pavage en bois demande une surveillance sérieuse surtout au printemps et à l'automne. Le pavé gonfle sous l'influence de l'humidité, et, comme il est posé jointif, il exerce une poussée sur les bordures, les disloque et fait soulever le bitume. On y remédie en nettoyant les rigoles de rives, remplies de sable et coupant les pavés.

Gonflement des pavages en bois. — Ce gonflement est considérable, comme le prouve une série d'expériences que nous avons faites dès 1891. Elles ont porté :

1° Sur le poids d'eau absorbée;

2° Sur la dilatation du bois,

et ont eu lieu sur du sapin du Nord et sur du pin des Landes.

Nous les résumerons ici très sommairement.

POIDS D'EAU ABSORBÉE.

1° La température a une influence importante sur l'absorption; à 20 degrés, elle est presque le double de celle que l'on constate à 4 degrés;

[1] En pin des Landes, 0 m. 15 d'épaisseur.

[2] Sur ce prix, la Ville perçoit 1 fr. 20 comme droits d'octroi.

[3] Sur ce prix, la Ville perçoit 1 fr. 30 comme droits d'octroi. Ce prix du mètre carré est relativement bas et résulte de la dernière adjudication (mars 1894). Le prix du marché précédent était dans les mêmes conditions, égal à 20 fr. 30, soit 5 francs en plus le mètre carré.

2° La saturation par simple immersion est très lente à se produire : après quinze jours, elle est presque complète ; au bout d'un mois, l'imbibition continue à se produire, mais d'une façon insensible.

DILATATION PAR L'HUMIDITÉ ET LA TEMPÉRATURE.

1° La température active le gonflement par l'humidité ;

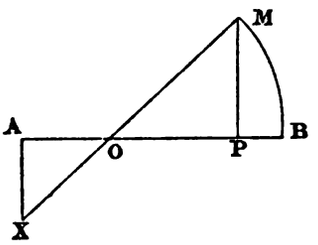
2° La dilatation, obtenue par immersion à la température de 4 degrés, a été en moyenne de :

2 à 3 millimètres	par mètre après	24	heures.
3 à 4 millimètres	—	48	—
5 millimètres	—	72	—

Dans ces expériences, on a opéré sur des pavés déjà humides, pris sur un chantier pendant l'hiver.

On peut obtenir des dilatations plus importantes, comme le prouvent les expériences suivantes, faites par M. Deval, conducteur principal, sous la direction de M. Salle, ingénieur des Ponts et Chaussées [1].

On a laissé sécher les pavés quelques jours dans le laboratoire, puis, après les avoir sciés en trois dans le sens de la longueur, on a juxtaposé les morceaux l'un au bout de l'autre, jusqu'à avoir une longueur de 1 mètre, les fibres étant verticales comme sur les chaussées. L'une des extrémités portait une règle en fer absolument stable ; à l'autre extrémité, était fixé un clou qui appuyait en A sur la petite branche d'une aiguille AOB, mobile autour du point O. La rangée de pavés était placée sur une tablette de verre. Mouillés constamment par un filet d'eau, les pavés, en s'allongeant, poussaient l'aiguille qui, après deux jours, a pris une position à peu près fixe ; l'allongement restant alors sensiblement constant, on a mesuré MP, d'où on a déduit AX, c'est-à-dire l'allongement cherché.



On a trouvé ainsi une dilatation de 0 m. 020 par mètre linéaire.

On a vu autrefois des dilatations énormes avec dislocation de bordure se produire, immédiatement après l'exécution du pavage et sans que la circulation ait produit son effet. Ces avaries peuvent être évitées d'une part par l'emploi de pavés abondamment mouillés, d'autre part par une surveillance efficace des rigoles des rives.

Mais une fois le pavage livré, l'effet du gonflement continue à se produire [2], parce que, au fur et à mesure de l'ouverture des fibres, les vides sont remplis par des graviers et détritus qui empêchent les fibres de reprendre leur position première. Arrive une pluie, le gonflement se reproduit.

C'est surtout dans les pluies chaudes de l'été et de l'automne que ces effets sont à craindre.

Deux autres reproches sont faits au pavage en bois : l'imprégnation par des matières putrides et le glissement des chevaux.

La cause des deux effets est la même : elle est due principalement au crottin du cheval. Il contient des matières grasses qui, sous l'influence de l'humidité, deviennent mucilagineuses et favorisent le glissement. Sous l'action de la pluie, ces matières sont rapidement enlevées et la chaussée cesse d'être glissante.

Mais on remédie dans une large mesure à cet inconvénient, en lavant chaque jour les pavages en bois, ce qui est facile grâce à la nature parfaitement lisse du revêtement. Les frais de nettoiement sont plus élevés que pour les chaussées pavées, mais les résultats sont bien meilleurs. Dans les plus fortes chaleurs de l'été, aux points de circulation extrêmement intense, les odeurs sont plus fortes sur les chaussées en pierre que sur les chaussées en bois : il faut en

[1] Des expériences beaucoup plus complètes ont été faites au laboratoire de l'École nationale des Ponts et Chaussées. (Voir plus loin.)

[2] Cet effet se produit tout de suite avec les bois tendres ; avec les bois durs, il est retardé.

attribuer la cause au crottin qui remplit les joints et que des lavages, forcément imparfaits sur les chaussées pavées en pierre, ne peuvent enlever complètement.

Essais des pavés en bois. — Jusqu'à l'année 1894, les essais des pavés en bois ne portaient que sur les madriers et ne consistaient que dans une inspection des bois qui doivent être parfaitement sains, homogènes, non flacheux ni roulés.

Des essais d'usure avaient été faits cependant au laboratoire de la Ville de Paris sur différents échantillons de bois.

Il résulte de ces essais que, dans les mêmes conditions de frottement, on obtient des usures différentes qui semblent pouvoir établir un classement. Ainsi, en prenant le chêne pour unité, dans une première série d'essais, on obtient les chiffres suivants :

	USURE.	COEFFICIENT par rapport au chêne.
	—	—
Chêne	61	1,00
Sapin rouge du Nord	136	2,23
Sapin blanc du Nord	183	3,00
Sapin de Lorraine	108	1,77
Peuplier	75	1,23
Grisard	169	2,77
Pin des Landes	126	2,06
Hêtre	73	1,20

En prenant le pitchpin, on a eu les chiffres suivants :

Pitchpin	1,00
Sapin d'Auvergne	1,80
Pin des Landes	1,50
—	1,30
—	2,24
Sapin des Cévennes (tête)	1,41
— (pied)	1,24
Pin des Cévennes (tête)	1,12
— (pied)	3,20
Sapin du Nord	2,24

Mais ce laboratoire, en opérant sur un même bois ou sur un même madrier, avait constaté qu'on obtenait des résultats assez variables. Le bois, en effet, n'est homogène ni dans une direction perpendiculaire aux fibres, ni dans une direction parallèle, et les résultats obtenus peuvent être très différents, suivant que l'on aura choisi l'échantillon à un niveau plus haut ou plus bas, ou bien à droite ou à gauche de l'axe de l'arbre.

On y avait aussi soumis à l'écrasement des cubes de 0 m. 07 de côté. Pour cela, on faisait croître la pression jusqu'à ce qu'il y ait une déformation constante.

Pour avoir une réduction de 0 m. 001 dans la longueur des fibres, on a trouvé qu'il fallait une pression totale de :

20.000 kilogrammes pour le sapin du Nord;

25.000 kilogrammes pour le pin des Landes;

30.000 kilogrammes pour le chêne.

Ces chiffres ne peuvent s'appliquer qu'aux échantillons soumis à l'essai.

La question en était là, c'est-à-dire que les résultats de ces essais étaient bien incomplets au point de vue de la pratique, quand M. Petsche, ingénieur des Ponts et Chaussées, chargé du service de la 3e Section des travaux de Paris et en particulier de l'achat et de la préparation des bois pour pavage, fit faire au laboratoire de l'École nationale des Ponts et Chaussées une série d'essais qui ont démontré que des études, entreprises avec méthode dans un laboratoire bien dirigé, pouvaient fournir des renseignements très utiles dans la pratique.

Le programme des essais a été arrêté après étude d'un commun accord par le directeur du laboratoire et M. Petsche.

Ils sont les suivants :

1° Détermination du module d'élasticité des bois;

2° Rupture par flexion;

3° Usure par frottement;

4° Écrasement;

5° Choc;

6° Effets de gonflement et de poussée sous l'influence de l'humidité.

Il paraît nécessaire de décrire ces essais, en raison de leur importance et de leur nouveauté.

Détermination du module d'élasticité des bois.

On opère sur trois baguettes de 1 m. 10 de longueur et 3 centimètres sur 3 centimètres de section; on les desséchait à l'étuve à 30 degrés centigrades jusqu'à ce que leur poids demeure invariable.

Une des baguettes desséchées est immergée pendant 5 jours dans l'eau à la température de 30 degrés centigrades. De cette façon on opère sur deux baguettes sèches et sur une réglette imbibée d'eau.

On pose les baguettes sur deux appuis distants de 1 mètre et on les charge en leur milieu de poids croissants, obtenus au moyen d'un écoulement uniforme d'eau, grâce à une disposition particulière[1]. Les flèches obtenues sont amplifiées dans le rapport de 50 à 1 et enregistrées.

Connaissant la charge P, correspondant à une flèche f,

la largeur b de la réglette,

et h, sa hauteur,

on trouve le module d'élasticité E, par la formule :

$$E = \frac{P}{f} \frac{1}{4bh^3}$$

où P est exprimé en kilogrammes, f, b et h en mètres.

Rupture par flexion.

On opère sur les mêmes baguettes que ci-dessus et dans les mêmes conditions jusqu'à rupture.

Comme il est impossible d'obtenir, pratiquement, des réglettes qui aient rigoureusement les mêmes dimensions, il est utile de calculer les charges de rupture qu'on obtiendrait avec des baguettes ayant exactement les mêmes dimensions. On peut, de cette façon, faciliter beaucoup la comparaison des résultats.

C'est ce qui a été fait au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, pour des baguettes de 10 centimètres de côté, en admettant que leur résistance varie proportionnellement à la largeur et au carré de la hauteur.

La détermination du module d'élasticité fait connaître aussi les flèches prises par les baguettes sous les charges successives : il est utile de consigner ces résultats sous forme de tableau, en rendant aussi les chiffres comparables, en opérant comme ci-dessus, pour les dimensions de 3 centimètres de côté.

Usure par frottement.

On opère, pour chaque essence de bois, sur deux éprouvettes, façonnées en prismes, de 6 centimètres sur 4 centimètres de base et 12 centimètres de hauteur.

---

[1] Voir *Annales des Ponts et Chaussées* (août 1888).

Les éprouvettes sont d'abord desséchées à la température de + 30 degrés centigrades, puis imbibées d'eau par immersion pendant 5 à 6 jours. Dans cet état on le pose, bois debout, sous une charge calculée à raison de 250 grammes par centimètre carré de surface frottante, sur une meule tournante en fonte (système Dorry) saupoudrée d'émeri n° 3 et arrosée d'eau en quantité convenable, déterminée expérimentalement pour que l'émeri mouillé constitue une sorte de pâte susceptible de rouler sur la meule en avant de l'échantillon, comme le fait le sable de grès employé pour les essais à sec de pierres.

On prépare les éprouvettes de façon que leurs couches concentriques, pendant l'essai, soient autant que possible, pour l'une parallèle, pour l'autre normale, au sens du déplacement de la meule.

On mesure l'usure par la perte de hauteur, constatée sur chacun des prismes d'essai après 2.000 tours de meule (1.000 tours sur chaque extrémité du prisme) correspondant à un parcours linéaire de 3.280 mètres avec une vitesse de 2.000 tours à l'heure.

Écrasement.

On opère pour chaque essence de bois sur huit éprouvettes, en forme de prismes à base carrée de 5 centimètres de côté, quatre ont 12 centimètres de hauteur et quatre 15 centimètres. On a soin de rendre les faces de pression aussi parallèles que possible.

Tous les prismes sont desséchés à l'étuve à 30 degrés centigrades; quatre sont ensuite immergés pendant un temps variable avec les essences.

On place chaque prisme, bois debout, entre les deux plateaux d'une presse hydraulique et on les comprime jusqu'au moment où les fibres se séparent et s'inclinent sur une partie de la hauteur de l'éprouvette, suivant un ou plusieurs plans plus ou moins obliques, conformément aux croquis ci-après.

C'est ce phénomène qu'on appelle *écrasement*.

A partir de ce moment la pression ne peut plus augmenter et, si on continue l'effort, il n'a pour effet que de faire glisser la partie supérieure de l'éprouvette sur la partie inférieure, suivant le ou les plans de rupture.

Il est intéressant de mesurer pendant l'essai le raccourcissement des fibres sous différentes charges à l'aide de règles diverses et de verniers.

Choc.

On opère sur des éprouvettes en forme de prisme à base carrée de 6 centimètres environ de côté; leur hauteur peut varier de 12 à 15 centimètres.

On commence par dessécher les éprouvettes dans l'étuve à 30 degrés centigrades.

Certaines, après dessiccation, sont immergées dans l'eau à la température de 30 degrés centigrades.

Chaque prisme est alors placé, bois debout, au centre d'une sorte de caisse démontable en fonte, sans fond, à section carrée de 7 centimètres de côté et 14 centimètres de hauteur qui est fixée sur la chabotte à l'aide de boulons. L'intervalle entre le prisme et la paroi intérieure de la caisse est rempli par un coulis d'arcanson qui, après refroidissement, rend les deux parties solidaires.

Les prismes de 15 centimètres de hauteur présentent ainsi au-dessus de la caisse une hauteur de 1 centimètre non encastrée sur laquelle tombe le mouton.

Avec des prismes de hauteur plus faibles on obtient le même résultat en plaçant des cales convenables dans le fond de la caisse.

Le mouton pèse 20 kilogrammes et a une panne à section carrée de 62 millimètres de côté. La hauteur de chute est 2 mètres. Le nombre des coups varie avec l'état des éprouvettes et l'essence des bois.

Dans l'essai, tout d'abord le mouton rebondit, puis l'éprouvette s'écrase, se fissure parfois et s'affaisse. Le rebondissement finit par être nul.

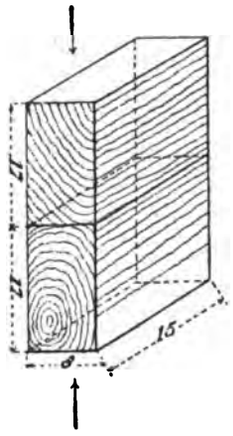
On note le nombre de coups de mouton nécessaire pour que l'affaissement de l'éprouvette soit sensible. On dépasse d'ailleurs ce nombre.

On mesure avec un pied à coulisse l'affaissement de l'éprouvette, quand elle est retirée de la caisse.

Afin de comparer les résultats, on calcule le travail de chute en kilogrammes correspondant au nombre de coups donnés, abstraction faite des coups rebondissants. En outre on calcule l'affaissement que l'on aurait eu pour le même nombre de coups de mouton, en supposant que les sections de tous les prismes soient égales. Dans ce calcul on admet que l'affaissement varie, comme la surface primitive frappée, la hauteur de toutes les éprouvettes de chaque type, étant sensiblement la même.

Effets de gonflement et de poussée sous l'influence de l'humidité.

On opère sur des pavés ordinaires de 8, 17 et 15 centimètres d'arêtes, dont les faces semblables sont rendues aussi parallèles que possible.



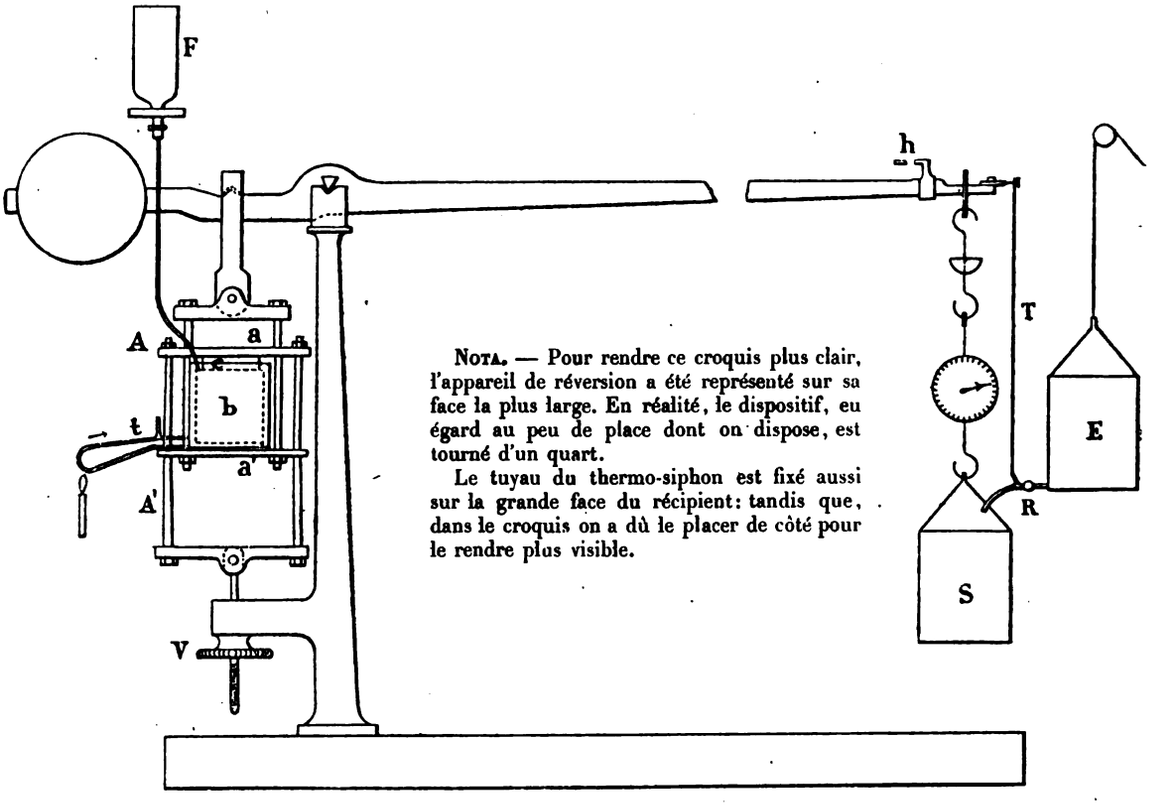
Le laboratoire a utilisé pour ces essais une machine à levier [1] au dixième en y adoptant un appareil de réversion AA' (voir le croquis ci-dessous) qui transforme les efforts de traction en efforts de compression.

Le ou les pavés [2] à expérimenter sont introduits de champ, comme l'indique la figure ci-contre, dans un récipient étanche *b*, la face supérieure des pavés étant un peu en contre-bas du bord supérieur du récipient.

On place sur les pavés un bloc en fonte raboté *c* dépassant le niveau du récipient *b*.

Le récipient ainsi disposé avec le ou les pavés et le bloc en fonte est introduit entre les deux plateaux *a*, *a'* du système de réversion. Le levier de la balance est mis ensuite en équilibre en agissant sur la vis V. On a soin d'équilibrer préalablement le levier en tenant compte du poids de l'eau à introduire dans le récipient *b*.

L'appareil, ainsi attelé sur le petit bras du levier de la balance, fait équilibre au grand bras du levier à l'extrémité duquel sont suspendus :



NOTA. — Pour rendre ce croquis plus clair, l'appareil de réversion a été représenté sur sa face la plus large. En réalité, le dispositif, eu égard au peu de place dont on dispose, est tourné d'un quart.

Le tuyau du thermo-siphon est fixé aussi sur la grande face du récipient: tandis que, dans le croquis on a dû le placer de côté pour le rendre plus visible.

1° un seau en tôle S, supporté par un dynamomètre à cadran taré expérimentalement et 2° une tige rigide T qui commande automatiquement et sans temps perdu le robinet R très doux d'un second seau en tôle E rempli de mercure.

[1] Cette disposition ingénieuse est due à M. Klein (Louis), chef du dépôt des instruments et de l'atelier d'essais, qui, dans ces études, a été particulièrement bien secondé par M. Mercier, conducteur des Ponts et Chaussées.

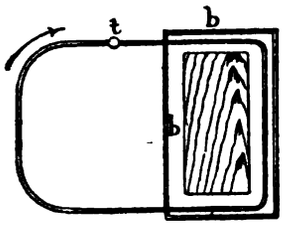
[2] On peut disposer plusieurs pavés à la fois dans l'appareil.

Le robinet R est réglé de telle sorte qu'il ne laisse pas écouler de mercure si le levier reste horizontal, ce que l'on constate pour la position de l'index *h*.

L'expérience étant ainsi préparée, on introduit de l'eau dans le récipient *b* qui contient le ou les pavés. Sous l'influence de l'eau, les fibres du bois augmentent de volume en produisant, par l'intermédiaire de l'appareil de réversion, un effet de traction sur le petit bras du levier et par conséquent une tendance au soulèvement du grand bras de levier, mais grâce à la tige T, le robinet R s'ouvre immédiatement et automatiquement et le mercure se met à couler du récipient E dans le récipient S.

La vitesse d'écoulement du mercure est plus ou moins rapide, suivant que l'imbibition du pavé est plus ou moins active. Le robinet R est du reste réglé pour que le poids du mercure, écoulé dans le récipient S, s'oppose à toute augmentation de volume du ou des pavés, sans que le grand bras du levier dépasse jamais l'horizontale.

On fait la lecture du dynamomètre à des intervalles déterminés.



Pour rendre tous les résultats comparables, les pavés ont été desséchés préalablement à l'étuve à la température de + 30 degrés centigrades, jusqu'à ce que leur poids demeure invariable et l'eau du récipient *b* est maintenue à une température constante de + 30 degrés centigrades à l'aide d'un thermo-siphon. La disposition de ce thermo-siphon est indiquée au croquis ci-contre.

Dans le fond du récipient *b* et le long des bords intérieurs règne un petit tuyau en cuivre sans fin, soudé bien entendu aux passages de la paroi et se continuant en porte-à-faux en dehors de la boîte.

En *t* est soudé un ajutage terminé par un tube en verre non bouché. Ce tube en verre sert à remplir le tube en cuivre, en même temps de réservoir d'eau et au besoin de soupape de sûreté.

Un bec de gaz, alimenté par un petit régulateur de pression, chauffe le tube en cuivre en dehors du récipient *b* en un point de son parcours. En raison de la pente donnée à ce tuyau vers la partie chauffée, il s'établit immédiatement une circulation d'eau tiède qui vient entretenir par rayonnement la température constante à laquelle se fait l'expérience.

Un flacon d'eau F renversé sert à maintenir dans le récipient *b* la quantité d'eau perdue par l'évaporation et par l'absorption du bois.

Pour mesurer la dilatation libre du bois sous l'influence de l'eau, quelques-uns des pavés soumis à l'essai pour la détermination des efforts de poussée ont été, après cet essai, conservés pendant un temps prolongé dans l'eau à la température de + 30 degrés centigrades, puis mesurés au pied à coulisse. On les a ensuite desséchés à nouveau à la température de + 30 degrés centigrades et mesurés dans cet état pour vérifier s'ils revenaient à leurs dimensions primitives après la dilatation qu'ils avaient prise.

En résumé les récentes expériences, faites au laboratoire de l'École nationale des Ponts et Chaussées, démontrent que l'on peut espérer fixer avec une exactitude satisfaisante l'essai des pavés en bois et que les résultats obtenus dans le laboratoire sont d'une grande utilité au point de vue de la pratique : il convient donc de poursuivre avec soin ces expériences. Mais elles sont encore toutes nouvelles et ne sont pas même complètement terminées. Il paraît donc convenable de se borner, au moins actuellement, à indiquer l'objet des essais en laissant aux opérateurs la liberté des méthodes. Ce n'est qu'après quelques années d'études et de recherches qu'il sera possible de fixer et d'uniformiser ces méthodes.

Il y a lieu aussi de faire des recherches dans un autre ordre d'idées : l'examen microscopique et physiologique des bois. De certains renseignements recueillis, il semble résulter que la texture des bois est liée dans une certaine mesure avec leur qualité de résistance à l'usure. Il suffirait donc d'examiner au microscope de petits échantillons pour avoir une idée au moins approximative des qualités des bois. Cette méthode serait particulièrement avantageuse en ce qui concerne les bois de provenance exotique et dispenserait d'en faire venir, au moins pour un premier examen, un volume important, ce qui est toujours coûteux.

Enfin les pavages en bois ont été parfois critiqués au point de vue de la facilité d'absorber

les liquides et des conséquences qu'ils ont à ce point de vue sur l'hygiène publique. Il conviendrait d'étudier et de préciser cette question.

On trouvera à la fin du présent rapport (annexe D) une note très intéressante de M. Petsche, ingénieur des Ponts et Chaussées, où il examine en détail la valeur des résultats obtenus au laboratoire de l'École nationale des Ponts et Chaussées. Cet ingénieur estime que ces résultats concordent d'une manière générale avec ceux de la pratique. Cette conclusion a une grande importance en raison de la compétence particulière de son auteur.

C'est dans l'esprit des observations qui précèdent et en tenant compte des décisions prises par le Comité d'études dans sa séance du 5 avril 1895 que nous avons rédigé les conclusions du présent rapport.

CHAUSSÉES SANS JOINTS FORMANT REVÊTEMENTS LISSES.

Bitumes et asphaltes.

Les principaux revêtements lisses, employés dans les travaux de voirie, sont les asphaltes et bitumes; ces derniers sont généralement réservés aux trottoirs.

Définition des bitumes et asphaltes[1]. — On appelle asphalte le calcaire bitumineux.

Bitume, le produit noir et visqueux qui se trouve disséminé dans les pores du calcaire bitumineux et dans les interstices des molasses de Seyssel ou des sables d'Auvergne (et même, dans bien d'autres milieux).

Le mot bitume ne désigne nullement, en effet, une matière d'une composition chimique bien déterminée, mais bien, au contraire, un mélange de divers carbures d'hydrogène, dont quelques-uns peuvent être oxygénés. De là résultent ces différences considérables qui distinguent tant de corps que l'on doit, pourtant, réunir dans une même famille, ne fût-ce qu'à raison de la communauté probable d'origine: huile de naphte, de pétrole, de schiste, poix, brai de gaz, bitumes de diverses autres natures suivant les matières qu'ils imprègnent (terres, sables, schistes, calcaires, etc...). La disparition de certains carbures plus volatils que d'autres, l'oxydation sous de certaines influences, voilà d'ailleurs, en somme, les causes qui paraissent avoir déterminé la différentiation entre les divers produits bitumineux, mais quelques caractères constants et notamment l'odeur (quoiqu'elle soit parfois assez variable) permettent presque toujours de ramener à une source commune toutes ces matières qui donnent lieu à tant d'emplois différents dans l'industrie moderne.

L'asphalte est un carbonate de chaux parfaitement pur, sauf parfois quelques traces de silice, imprégné dans la proportion de 7 à 8 ou même de 12 ou 13 p. 100 de bitume en poids. La couleur d'ailleurs variable se rapproche toujours plus ou moins du chocolat foncé, tirant sur le noir; cette couleur, il faut le remarquer, disparaît, du reste, assez rapidement à l'air, à raison de la volatilité du bitume d'imprégnation, lequel, en s'évaporant, ne laisse plus à l'extérieur des débris de roches asphaltiques qu'une croûte mince de calcaire blanc ordinaire non imprégné; cette croûte n'a pas plus de 0 mm. 25 à 0 mm. 5, mais elle suffit pour décolorer complètement les blocs laissés depuis un certain temps sur le carreau de la mine, au point que l'on s'y tromperait absolument, si l'on ne cassait les morceaux, la teinte noire caractéristique subsistant bien entendu à l'intérieur.

La structure ou le grain de la roche asphaltique est très variable, à ce point que les personnes expérimentées ne risquent guère de se tromper sur la provenance d'une roche rien qu'au coup d'œil. La roche de Ragusa, notamment, est en général à grains beaucoup plus grossiers que celle de Seyssel et de Val-de-Travers.

La densité proprement dite des asphaltes est variable, mais toujours un peu supérieure à 2 et voisine de 2,20 ou 2,25.

Le bitume d'imprégnation, au contraire, a moyennement une densité comprise entre 1 et 1,16. Composé de carbone, hydrogène et oxygène, il fond aux environs de 60 degrés et,

[1] Ces renseignements sur la définition des bitumes et asphaltes sont empruntés en grande partie au rapport de mission 1887 de M. de Tavernier, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, alors ingénieur de la 1re section des travaux de Paris.

quand on l'allume, brûle avec vivacité. A la température ordinaire, 15 ou 20 degrés, il est à peu près solide et même cassant quand on l'expose au froid, mais, dès 30 ou 40 degrés, il commence à se ramollir et à devenir visqueux. Toutes ces propriétés, le bitume les communique naturellement, quoique avec atténuation, à la roche calcaire qu'il imprègne. Il n'y a, en effet, aucune combinaison entre le carbonate de chaux et l'hydrocarbure, mais un simple dépôt de molécules ou gouttelettes bitumineuses dans les interstices qui séparent naturellement les grains du calcaire. Par suite, l'imprégnation est généralement d'autant plus régulière que le grain est plus fin, d'autant plus complète, c'est-à-dire riche en bitume, que le grain est moins serré et la roche plus dure; les calcaires fissurés qui se rencontrent assez souvent dans le néocomien du Jura ne donnent en général que des asphaltes de qualité inférieure, le dépôt des vapeurs d'hydrocarbure s'étant plus ou moins borné à ces fissures qui leur offraient un facile cheminement, au lieu de s'être régulièrement exercé dans toute la masse. Il arrive souvent d'ailleurs que, dans une masse régulièrement imprégnée, on remarque de ci de là des taches plus claires donnant à la roche un aspect tigré. La roche peut néanmoins être de bonne qualité, si l'imprégnation est complète.

Mode d'exécution des chaussées en asphalte. — Fondation. — Les chaussées asphaltées se composent, à Paris, d'une fondation rigide en béton de 0 m. 10 à 0 m. 15 ou 0 m. 20 d'épaisseur et d'une couche d'asphalte de 0 m. 04, 0 m. 05, 0 m. 06.

Sur la fondation en elle-même, il n'y a rien de particulier à relater, le béton est formé d'un mélange de caillou et de mortier, de chaux hydraulique ou de ciment préparé suivant les règles de l'art; on emploie maintenant d'une manière exclusive un béton de ciment de Portland généralement formé de 200 kg. de ciment pour un mètre cube d'un mélange d'un mètre cube de cailloux et d'un demi-mètre cube de sable. On donne à la couche de fondation une épaisseur de 0 m. 15 au minimum ou même de 0 m. 20 si la nature du sous-sol ou l'importance de la circulation en fait reconnaître l'utilité; la surface est soigneusement lissée à la règle suivant le bombement prescrit.

Revêtement asphaltique. — Préparation de la poudre. — La roche asphaltique arrive des carrières à l'état brut; celle qui est destinée aux chaussées doit contenir au moins 7 p. 100 et au plus 13 p. 100 de son poids de bitume naturel. Les diverses transformations qu'elle doit subir sont faites dans les usines des entrepreneurs et sous le contrôle des agents de la ville, qui ne laissent rien sortir sans une lettre de voiture constatant la nature et la provenance des matières.

La première opération pour la préparation de l'asphalte est le broyage de la roche au moyen de concasseurs et de broyeurs mécaniques qui la réduisent en poudre très fine; si, pour arriver à donner à la poudre la teneur en bitume prescrite, il est nécessaire de mélanger des roches plus grasses ou plus maigres, c'est de préférence au moment du broyage que les morceaux de roches concassés, destinés à rétablir la composition normale, doivent être ajoutés; il est d'ailleurs recommandé de ne mélanger que des roches de même nature ne différant que par leur teneur en bitume.

Après le broyage qui s'effectue à froid, la poudre est portée à une température uniforme de 120 à 130 degrés centigrades dans des cylindres rotateurs marchant mécaniquement d'une manière continue et uniforme, et dont l'aménagement intérieur est combiné pour éviter les coups de feu et les adhérences; la poudre est maintenue à cette température pendant un temps suffisant pour qu'elle soit complètement purgée de toute vapeur d'eau.

La poudre, ainsi préparée et chauffée, est transportée à pied d'œuvre dans des tombereaux couverts et disposés de manière à éviter, autant que possible, le refroidissement avant l'emploi.

Application de la poudre. — Lorsque le béton est très bien pris et bien sec, ce qui ne s'obtient, pour le béton de ciment de Portland, qu'au bout de trois à cinq jours suivant la température, on étale la poudre sur cette fondation, et on la régale au râteau de manière à former une couche dont l'épaisseur doit dépasser des deux cinquièmes environ celle que l'on veut obtenir après compression, et qui est généralement de 0 m. 05; on procède ainsi au pilonnage, d'abord avec précaution, puis, avec une énergie croissante, au moyen de pilons chauffés à la température convenable dans des fourneaux portatifs.

Le pilonnage doit être commencé par les bords et conduit de manière à assurer la soudure complète des bandes contiguës et la jonction exacte avec les bordures ou pavés limitant l'aire asphaltée.

Un premier, puis un second pilonnage sont suivis d'un lissage opéré au moyen d'un fer pesant, légèrement courbé qui, comme le pilon, a été préalablement chauffé. On procède alors

à un troisième pilonnage très énergique, puis la compression est complétée par le passage de rouleaux d'au moins 500 kilogrammes, promenés sur la surface de l'asphalte. Ces diverses opérations sont conduites de manière que la surface de la chaussée, exactement dressée suivant le profil prescrit, ne présente ni flaches, ni bosses, et que l'épaisseur de la couche asphaltique soit rigoureusement uniforme.

La chaussée ne doit être livrée à la circulation des piétons qu'après son complet refroidissement.

On emploie les mêmes matières et l'on suit exactement les mêmes règles, soit pour les constructions de chaussées complètement neuves, soit pour les réfections partielles de chaussées anciennes; seulement, dans ce dernier cas, lorsqu'on doit réparer la fondation en même temps que l'asphalte et qu'on ne peut soustraire à la circulation la surface refaite, en attendant la prise complète du béton, on le recouvre provisoirement d'un enduit en bitume coulé qu'on enlève au moment de l'application de l'asphalte.

Bitumes. — Le bitume, employé dans les travaux de Paris provient soit du lavage des sables bitumineux, soit de la distillation des schistes d'Autun et, en plus grande partie, de l'épuration des bitumes naturels de l'île de la Trinitad, dans les Antilles.

Le bitume pur ne doit pas contenir de matières étrangères, ni eau, ni sable, ni argile, ni débris de racines. L'argile lui ôte de sa souplesse et le rend plus sec; cependant on tolère, dans les travaux de Paris, une proportion de 25 p. 100 d'argile dans le bitume de la Trinitad.

Essais des bitumes et asphaltes. — L'essai des bitumes épurés comprend la détermination de la proportion d'argile qu'ils renferment.

L'essai des roches asphaltiques comprend :

1° La détermination de la proportion de bitume;
2° La vérification du degré de finesse;
3° L'analyse de la partie non bitumineuse, lorsqu'il s'agit d'une roche nouvelle.

L'examen microscopique ne donne pas de renseignements utiles sur l'homogénéité de l'imprégnation des roches par suite du champ restreint de l'appareil. L'inspection à l'œil fait reconnaître par la différence de nuances si le bitume est également réparti dans la roche.

La loupe peut faire reconnaître le mélange des poudres de deux roches d'inégale teneur en bitume.

Dans l'annexe E, nous produisons une note de M. Salle, ingénieur des Ponts et Chaussées exposant en détail les méthodes suivies au laboratoire de la Ville de Paris pour ces essais.

Roches asphaltiques employées à Paris. — Les roches asphaltiques employées à Paris sont :

1° Celles de Seyssel;
2° Celles de Val-de-Travers;
3° Celles de Raguse;
4° Celles de Mons.

L'analyse de ces roches a fourni les chiffres suivants .

DÉSIGNATION des ROCHES.	BITUME.	CARBONATES de CHAUX.	CARBONATES de MAGNÉSIE.	SABLE.	OBSERVATIONS.
Seyssel	de 5 à 7	de 95 à 95	Traces.	Traces.	
Val-de-Travers	11	87	1	1	
Raguse	14	81,3	2	1,7	
Mons	19	81	"	"	Banc très riche réservé pour mastics bitumineux.
Idem	de 9 à 12,5	de 89,1 à 86,2	"	1,3	Réservé pour les chaussées. La proportion de magnésie n'a pas été déterminée.

L'examen microscopique a permis de reconnaître que les cristaux qui composent les roches indiquées ci-dessous, après enlèvement du bitume, n'ont que quelques millièmes de millimètres d'épaisseur. Ceux de la roche de Mons sont les plus fins, puis viennent ceux de la roche de Seyssel. Dans les autres roches on en trouve d'un peu plus volumineux. Dans les roches d'Auvergne qui ont été, mais ne sont plus employées à Paris, on trouve des débris de coquillage toujours microscopiques.

Pour les poudres asphaltiques, la recherche du degré de finesse consiste à déterminer la proportion qui est retenue par un tamis dont les mailles n'ont pas plus de 0 mm. 25 d'écartement.

Revêtements en ciment.

Le ciment est assez fréquemment employé pour dallages de trottoirs; mais, par suite de la mauvaise exécution des travaux, il est rare que ces dallages se maintiennent longtemps en bon état. Souvent ils se fendillent et, dès lors, se dégradent rapidement.

Cependant, à Grenoble, depuis l'année 1876, on a exécuté des chaussées entièrement en ciment et les résultats ont été satisfaisants. Ces chaussées, exécutées actuellement dans vingt rues, présentent une surface totale de 30.000 mètres carrés. Leur largeur varie de 4 à 7 mètres et les pentes n'atteignent nulle part 0 m. 015 par mètre.

Le profil est constitué par une couche de gravier de 0 m. 25, qui sert de fondation à un béton maigre de 0 m. 20 d'épaisseur dosé à 180 kilogrammes par mètre cube de gravier (5 volumes de gravier pour 1 volume de ciment). Sur ce béton maigre est appliqué une chape de 0 m. 05, avec dosage de 1.200 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable (1 volume de ciment pour 1 volume de sable).

Le bombement est de 1/50.

Un plancher provisoire protège pendant un mois le revêtement avant de le livrer à la circulation.

Les riverains sont, paraît-il, satisfaits de ces chaussées et les préfèrent aux chaussées empierrées, en raison de la suppression de la boue ou poussière, et aux chaussées pavées, en raison de la suppression du bruit.

Dans la rue de Grenoble la plus fréquentée qui possède cette sorte de revêtement, on constate une circulation moyenne, entre 5 heures du matin et 6 heures du soir, de 8.000 piétons, 400 voitures à 1 collier, 150 à 2 colliers, 10 à 3 colliers et 1 à 4 colliers.

M. le Directeur des travaux de Grenoble estime que la résistance de ces chaussées aux lourds charrois est supérieure à celle des chaussées empierrées et asphaltées, mais moindre que celle des pavages en granit ou autres pierres dures.

Au point de vue du glissement des chevaux, on a soin de n'employer ces revêtements que dans les rues où la pente ne dépasse pas 15 millimètres par mètre.

Ces chaussées sont établies à Grenoble pour le prix de 12 francs le mètre carré, y compris la fourniture, la pose et la dépose du plancher provisoire.

Pendant dix ans, toutes les avaries, défectuosités résultant des fournitures ou mains-d'œuvre sont à la charge de l'entrepreneur.

En fait, l'expérience démontre qu'on peut fixer à Grenoble à plus de dix ans la durée des chaussées en ciment dans les rues à circulation ordinaire et présentant au moins deux voies, c'est-à-dire ayant plus de 4 mètres de largeur. C'est ordinairement sur la bande centrale qu'apparaît le béton, et lorsque l'usure de cette partie est très prononcée, on se borne, comme on l'a fait dans plusieurs rues de Grenoble, dont le dallage avait plus de dix ans de date, à rétablir seulement cette bande en conservant seulement les deux bandes riveraines des trottoirs; la soudure s'opère bien, paraît-il, et grâce à cette réfection partielle on prolonge pour une nouvelle période d'au moins dix ans la réfection de la chaussée.

Essais. — Les essais à faire sur cette nature de matériaux paraissent devoir être les mêmes que ceux déjà étudiés pour le ciment et le sable. En outre, il y aurait lieu de découper dans le massif constituant la chaussée des cubes d'essais, identiques à ceux employés avec la machine Dorry, et de les soumettre aux mêmes essais que les pierres.

Ces chaussées, formant revêtement lisse et imperméable, offrent de l'intérêt non seulement dans les petites villes à faible circulation, mais aussi dans les grandes villes en ce qui concerne les rues étroites et insalubres, mal aérées, généralement humides et où en même temps la circulation est faible. Pour ne prendre que l'exemple de Paris, il y a malheureusement un grand

nombre de rues de cette espèce dans le centre, dans les quatre premiers arrondissements, et, en attendant des percements et des dégagements dont la réalisation est rendue très difficile par l'énormité des frais d'expropriation, on ferait œuvre éminemment utile à l'hygiène et à la salubrité publiques en dotant ces rues de canalisations et remplaçant les chaussées pavées par un revêtement de cette nature bien moins coûteux que l'asphalte.

Les fabricants de ciment auraient là un nouveau débouché pour leurs produits et il leur appartient de faire le nécessaire pour démontrer la possibilité de cet emploi. Pour cela il leur est très facile de découper les éprouvettes cubiques que nous indiquons ci-dessus, soit dans des chaussées de cette nature existantes, soit dans des blocs d'essai, et de les adresser aux divers laboratoires possédant des machines Dorry, par exemple le laboratoire de l'École nationale des Ponts et Chaussées, le laboratoire de la Ville de Paris et celui de Boulogne-sur-Mer. Sans nul doute, grâce à ces divers concours, on pourrait arriver à obtenir dans cette voie des résultats intéressants pour la voirie municipale.

CONCLUSIONS [1].

Des renseignements contenus dans le rapport ci-dessus, nous proposons de tirer les conclusions suivantes en ce qui concerne les essais des matériaux employés dans la constructoin des chaussées.

a. — Observation générale sur les conclusions à tirer des essais.

On ne peut, en général, en ce qui concerne les chaussées et les matériaux employés à leur construction, que faire des essais sur les matériaux isolés.

L'application aux chaussées mêmes des résultats obtenus sur les matériaux isolés ne peut être faite qu'avec une extrême réserve et beaucoup de circonspection, eu égard aux influences extérieures prépondérantes sur la conservation des chaussées qui ne paraissent pas actuellement susceptibles de mesure, influences telles que les circonstances météorologiques, la circulation, la nature du sol de fondation, etc.

D'une façon générale, les résultats des essais ne pourront s'appliquer convenablement dans la pratique que si les matériaux sont homogènes.

b. — Empierrements.

En ce qui concerne les chaussées empierrées, les essais à faire seront de trois sortes :

1° Composition granulométrique;

2° Composition minéralogique;

3° Essais proprement dits des diverses pierres.

Prise d'échantillon. — L'échantillon devra comprendre, d'une part, des matériaux tels qu'ils sont destinés à l'emploi, d'autre part, des morceaux aussi gros que possible des matériaux de la carrière et en nombre correspondant, autant que possible, aux diverses natures de ces matériaux.

Une note annexe donnera des renseignements sur la carrière même à divers points de vue (nature géologique, mode d'exploitation, etc.)

Composition granulométrique. — On déterminera la proportion des matériaux, traversant des claies, inclinées à 45 degrés. et dont la largeur libre entre les tringles variera de centimètre en centimètre.

A cet effet, on opérera sur 50 kilogrammes de matériaux.

On appellera « cailloux » les matériaux ne traversant pas la claie de 1 centimètre et au-dessus.

La détermination de la composition des matériaux, traversant la claie de 1 centimètre,

[1] Ces conclusions ont été rédigées en tenant compte des décisions du Comité d'études, prises, après leur discussion dans les séances des 21 décembre 1894 et 5 avril 1895.

aura lieu au moyen de tamis horizontaux, en tôle perforée, suivant les règles prescrites pour les essais des sables.

On appellera « gravier », les matériaux traversant la claie de 1 centimètre et ne traversant pas la tôle perforée de 5 millimètres, et « matières terreuses et sableuses », tout ce qui traversera cette dernière tôle.

Composition minéralogique. — On déterminera et on indiquera la nature minéralogique des divers matériaux constituant l'échantillon.

Essais proprement dits des pierres. — On soumettra les échantillons des pierres aux essais suivants, conformément aux règles prescrites pour les essais de pierres :

Densité;

Dureté;

Résistance à l'écrasement;

Porosité;

Résistance à la gelée.

En outre, il y a lieu de faire des essais d'usure par frottement et par choc des matériaux les uns sur les autres [1].

A cet effet, on emploiera un appareil composé de huit [2] boîtes cylindriques en tôle de 0 m. 20 de diamètre et de 0 m. 34 de profondeur, accouplées quatre par quatre sur deux arbres en fer carré parallèles et distants de 0 m.405. Ces deux arbres sont rendus solidaires par un engrenage et tournent avec la même vitesse. Chaque arbre est coudé au droit de chaque cylindre dont l'axe se trouve incliné d'environ 30 degrés sur l'horizontale. Sur chaque arbre, deux paires de cylindres sont disposés symétriquement.

On opérera sur 5 kilogrammes de l'échantillon à essayer, dont les pierres ont été préalablement purgées, par un lavage, de toute poussière adhérente. Puis, on ferme chaque cylindre par un couvercle hermétique à joints de caoutchouc.

La rotation doit être parfaitement uniforme et donner 2,000 tours par heure.

Un compteur de tours établi sur l'un des arbres, fréquemment consulté, permet de contrôler la régularité de la marche de la machine.

Au bout de 5 heures, c'est-à-dire 10,000 tours, on arrête l'appareil, on ouvre le cylindre et on verse le contenu dans des bassines.

On lave avec soin le cylindre ainsi que son couvercle et les eaux de lavage sont reçues dans les bassines. Chaque pierre est ensuite lavée et brossée sous l'eau et débarrassée ainsi de la poussière qui reste dans les eaux de lavage à l'état de boue claire.

Cette boue est jetée sur deux passoires superposées dont les trous ont respectivement 0 m.01 et 0 m.0016 de diamètre.

On la sépare ainsi en trois lots comprenant :

1° Les grains qui ne passent pas à l'anneau de 0 m. 01;

2° Ceux qui passent à cet anneau, mais qui ont plus de 0 m. 0016;

3° La boue proprement dite et les grains de moins de 0 m. 0016.

Le premier lot est rejeté et réuni aux pierres de l'échantillon.

Le second est conservé à titre de renseignements.

Le troisième lot est desséché et pesé. Son poids, rapporté à 5 kilogrammes, exprimera par convention le coefficient cherché.

Vœu. — Le Comité émet le vœu que des essais soient faits en introduisant dans les cylindres des billes en fonte, et que les résultats ainsi obtenus soient comparés avec ceux de la méthode ordinaire.

---

[1] Ces essais ne s'appliquent qu'à des matériaux cassés et constitués par des cailloux homogènes. Les résultats obtenus sont négatifs avec des cailloux roulés pour lesquels l'usure par frottement est presque nulle. Avec des matériaux à gangue extérieure friable, l'usure est considérable et ne correspond pas aux résultats de la pratique.

[2] L'appareil ici décrit est l'appareil complet tel qu'il a été indiqué par la Commission des Routes nationales dans son rapport du 15 octobre 1880. Cet appareil permet de comparer simultanément sept échantillons à un huitième pris pour type. Mais il est évident que l'appareil peut être simplifié et réduit à deux cylindres.

c. — **Pavages et dallages.**

En ce qui concerne les pavages et les dallages, il y a lieu de distinguer les matériaux naturels et les matériaux artificiels.

RÈGLES COMMUNES AUX DEUX SORTES DE MATÉRIAUX.

Prise d'échantillon. — Le nombre des échantillons prélevés sera d'autant plus grand que les matériaux, d'après leur lieu de provenance, seront moins homogènes.

Le lieu d'extraction sera toujours indiqué avec sa description.

Essais. — Des essais seront faits conformément aux règles prescrites pour les essais de pierre naturelle, en ce qui concerne :

la densité;
la dureté;
la résistance à l'écrasement;
la résistance à la rupture par flexion;
la porosité;
la résistance à la gelée.

Vœu. — Le Comité émet le vœu que des recherches soient entreprises pour établir un appareil destiné à mesurer la facilité plus ou moins grande qu'offrent les matériaux au glissement des chevaux.

RÈGLES SPÉCIALES AUX PAVÉS EN PIERRE NATURELLE.

Provenance et nature des matériaux. — Une notice sera produite sur la carrière, sa nature géologique, son mode d'exploitation, l'homogénéité des produits, etc...

La nature minéralogique des échantillons sera indiquée.

Essais des matériaux avant l'emploi. — On recommande, avant l'emploi, la vérification individuelle des matériaux étalés un par un sur une surface plane. La nature du son, produit par le choc d'un marteau, paraît donner d'utiles renseignements sur l'homogénéité d'un même pavé et pouvoir déceler la présence de fils ou délits.

L'arrosage général des pavés et la constatation de la rapidité de leur dessiccation paraît donner des renseignements utiles sur l'homogénéité de la fourniture.

Vœu. — Le Comité émet le vœu que des règles plus précises soient formulées sur ces essais, s'il est possible.

RÈGLES SPÉCIALES AUX MATÉRIAUX ARTIFICIELS.

Provenance et nature des matériaux. — La fabrication des matériaux devra être spécialement étudiée au point de vue de leur homogénéité; elle sera indiquée avec tous détails à cet égard.

Essais. — Les matériaux élémentaires entrant dans la fabrication du produit artificiel seront essayés conformément aux règles indiquées pour chacun.

Des essais seront faits sur les matériaux fabriqués, conformément à ce qui est dit plus haut.

d. — **Bitumes et asphaltes.**

En ce qui concerne les bitumes et asphaltes, les essais sont indiqués ci-après.

ESSAIS DES ASPHALTES.

Les essais seront les suivants :

1° Essais d'homogénéité;
2° Détermination de la proportion de bitume;
3° Analyse chimique de la roche privée de bitume

Essais d'homogénéité. — La simple inspection des roches à l'œil fait reconnaître par la différence de nuance si le bitume est également réparti dans la roche.

Si l'échantillon est présenté en poudre, l'emploi de la loupe est recommandé pour vérifier l'homogénéité : le grossissement à employer est de 10 diamètres.

Détermination de la proportion de bitume. — Après avoir pulvérisé des échantillons prélevés en divers points de la roche à essayer et les avoir bien mêlés de façon à obtenir une poudre bien homogène, on fait sécher cette poudre avec les précautions convenables et on en prend un gramme.

On détermine la quantité de bitume contenu dans ce gramme, en le dissolvant au moyen de lavages méthodiques et successifs avec du sulfure de carbone pur, exempt de soufre et ne laissant aucun résidu par l'évaporation.

A titre de vérification on déterminera le poids de la poudre restant après lavage.

Analyse chimique de la roche, privée de bitume. — Cette analyse chimique aura lieu par les méthodes ordinaires, et on s'attachera surtout à déterminer les proportions de sable, d'argile et de pyrite de fer.

Vœu. — Le Comité émet le vœu que des études soient faites sur la détermination de la finesse de la poudre et son influence sur la qualité des asphaltes.

ESSAIS DE BITUME.

Les essais particulièrement recommandés sont les suivants :

1° Perte à 100 degrés centigrades ;

2° Dosage de l'argile ;

3° Présence du soufre ;

4° Présence du brai.

Vœu. — Le Comité émet le vœu que les essais indiqués ci-dessus et tous autres dont l'utilité seraient reconnue soient faits dans des laboratoires différents et par des méthodes différentes, et que les résultats obtenus avec des méthodes différentes soient l'objet de comparaisons, afin de pouvoir fixer et uniformiser les méthodes à employer.

e. — **Bois pour pavage**[1].

En ce qui concerne les bois employés au pavage, il y a lieu de :

1° Définir les conditions de leur provenance au point de vue du lieu, du climat, de l'exposition, de la nature du sol, de l'âge, de l'époque d'abatage, du mode d'exploitation, etc. ;

2° Spécifier les résultats des essais organoleptiques ordinairement indiqués pour le bois, savoir : bois parfaitement sains, contexture compacte et uniforme, grain fin et serré, importance de l'aubier, échauffure, carie, gerçures profondes, cadranures, gélivures, roulures, nœuds vicieux, vermoulures, etc. ;

3° Déterminer :

leur densité ;

leur élasticité ;

leur résistance à l'usure { par frottement ; par écrasement ; par choc ;

leur poussée et dilatation sous l'influence de l'humidité.

---

[1] Voir les conclusions du rapport de M. Bès de Berc, ingénieur des constructions navales, sur les *Méthodes d'essai de bois.*

Vœu. — Le Comité émet le vœu que :

1° Les recherches relatives aux essais indiqués au 3° ci-dessus, et actuellement en cours, soient poursuivies, afin d'arriver à une fixation et une uniformisation des méthodes à suivre;

2° Des recherches soient entreprises au point de vue :

(*a*) De l'examen microscopique et physiologique des bois;

(*b*) De leur résistance à la pourriture, de leur facilité d'imprégnation par l'eau et les antiseptiques.

Paris, le 20 mai 1895.

A. MONMERQUE.

ANNEXE A.

APPAREILS POUR LA MESURE DES COEFFICIENTS D'USURE DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS AUX EMPIERREMENTS.

(Extrait d'une notice produite par M. Salle, ingénieur des Ponts et Chaussées, chargé du service du laboratoire municipal d'essais de la Ville de Paris, à l'occasion de l'Exposition universelle de 1889.)

Cet appareil se compose de deux cylindres en tôle creux, de mêmes dimensions. Ils sont montés sur un même arbre horizontal de façon que leur axe de figure soit oblique à l'axe de rotation. On introduit dans l'un des cylindres des échantillons de la pierre prise pour type et dans l'autre des morceaux de la pierre à essayer. On met le même poids de pierre dans chaque cylindre et l'on choisit de part et d'autre des morceaux d'à peu près même grosseur. On fait tourner les deux cylindres simultanément, et on recueille les détritus formés par le frottement des matériaux les uns contre les autres.

Les matériaux durs fourniront moins de détritus que les matériaux tendres, et le rapport entre les poids de détritus fournis par la pierre à essayer et par la pierre-type sera le coefficient d'usure.

On a pris pour type le porphyre de Voutré qui fait à Paris de très bons empierrements, et nous donnons ci-dessous quelques résultats :

Porphyre de Voutré	1,00
— de Quénast	0,80
— de Lessines	1,08
— de la Loire, bleu	1,19
— de la Loire, rouge	1,06
Meulière courante	1,84
— de choix	1,43
— d'Épernon	1,29
— de la Houssaye (rebutée)	2,28
Trapp de Raon-l'Étape, noir	1,09
— marbré, rouge	1,07
— marbré, noir	0,87
Grès de Trullenhausen (Allemagne)	1,45
— de Wisches (Allemagne)	1,76
— siliceux, de Han (Belgique)	1,12
Poudingue belge (rebutée)	3,56

Le frottement, produit par le roulement des matériaux dans un cylindre tournant autour d'un axe autre que celui de figure, reproduit quelque chose d'analogue au frottement des pierres d'un macadam les unes contre les autres sous l'influence des charges roulantes. Cette usure de matériaux frottant les uns contre les autres dans toute l'épaisseur des empierrements a été constatée par M. Homberg, ingénieur en chef de la voie publique, dans une note publiée en 1860 sur les empierrements de Paris.

Mais les renseignements indiqués ci-dessus, très précieux pour donner promptement une idée assez exacte de la valeur d'un échantillon encore inconnu, ne peuvent remplacer complètement l'épreuve pratique.

On sait les difficultés des essais pratiques, le temps qu'ils nécessitent et le peu de concordance qu'ils ont entre eux.

La Commission des Routes nationales a fait choix de l'appareil Deval pour la détermination de la résistance à l'usure et au choc des différents matériaux d'empierrement. Un appareil composé de huit cylindres a été construit par l'École des Ponts et Chaussées, et, sur 637 échantillons essayés, on a reconnu que quelques-uns seulement, par leur nature, ne pouvaient être essayés par l'appareil. Ce sont les matériaux roulés, ceux qui sont entourés d'une gangue moins dure que la partie intérieure, quelques pierres présentant sur leurs faces un aspect mamelonné.

Malgré ces anomalies, la Commission a apprécié les qualités de l'appareil et a trouvé que les indications étaient toujours concordantes.

ANNEXE B.

ESSAIS FAITS AU LABORATOIRE DE LA VILLE DE PARIS.

Comparaison de divers matériaux d'empierrement au porphyre de Voutré, le coefficient de ce dernier étant pris égal à 1.

DATES DES ESSAIS.	NATURE ET PROVENANCE DES ÉCHANTILLONS.	COEFFICIENT D'USURE.	OBSERVATIONS.
3 janvier 1879...	Quartzite des Ardennes	1,27	
Décembre 1878...	Quartzite de Blamont	0,64	
Idem	Arkose	1,26	
Idem	Porphyre belge	0,80	
30 janvier 1879...	Meulière	1,18	
3 mars 1879. ...	Pierre de Berkheim (Haute-Alsace)	1,09	
Mars 1879	Calcaire des Basses-Alpes	1,66	
Idem	*Idem*	2,04	
Idem	*Idem*	2,16	
Idem	*Idem*	1,76	
Idem	*Idem*	1,31	
Idem	*Idem*	1,60	
Idem	*Idem*	1,45	
Idem	*Idem*	2,42	
Idem	*Idem*	1,82	
Idem	*Idem*	1,59	
Idem	*Idem*	1,41	
Idem	*Idem*	3,80	
Juillet 1879	*Idem*	1,70	
Idem	*Idem*	1,22	
Idem	*Idem*	1,22	
Idem	*Idem*	1,98	
Idem	*Idem*	2,54	
Idem	*Idem*	1,52	
Idem	*Idem*	1,60	
Idem	*Idem*	1,72	
Idem	*Idem*	1,45	
Idem	*Idem*	1,44	
Idem	*Idem*	1,14	
Idem	*Idem*	1,84	
Idem	Quartzite de la Manche	0,976	
5 juin 1879	Quartzite de Chailloué	0,77	
2 octobre 1879...	Pierres de Bierghes (Belgique)	2,16	
Idem	Grès de Ham-sur-Sambre (Belgique)	1,12	
Idem	Poudingue de Marchin, près Huy (Belgique)	3,56	
Idem	Grès de Thuin (Belgique)	1,22	
30 mars 1878....	Pierre de Domfront	0,80	
Idem	Pierre du Calvados	0,914	
Idem	Porphyre de la Nièvre	1,12	
Idem	*Idem*	1,34	

DATES DES ESSAIS.	NATURE ET PROVENANCE DES ÉCHANTILLONS		COEFFICIENT D'USURE.	OBSERVATIONS.
30 mars 1878...	Quartzite des Ardennes.	Pierres de Roma	0,97	
		Pierres de l'Hermitage	0,848	
Idem	Quartzite des environs de Grandville		2,06	
Idem	Porphyre de Montchalus (Nièvre)		1,47	
31 janvier 1880...	Arkose de Sennecey (rose)		1,70	
Idem	Arkose de Saint-Léger (blanche)		1,17	
Idem	Quartzite des Iffs, près Montsurs		0,828	
Idem	Porphyre de La Collancelle (Nièvre)		1,28	
Idem	Porphyre de Roanne (Loire)	rouge	1,71	
		bleu	1,60	
		bleu et rouge mélangés	1,62	
26 mai 1880.....	Quartzite de Chailloué		0,84	
Idem	Porphyre de Lessines		0,91	
Idem	Pierres cassées employées dans l'Yonne.	Porphyre gris	1,38	
		Arkose quartzeuse	1,54	
		Porphyre bleu	0,98	
		Silex blanc	1,90	
Idem	Pierres de Courguin (Calvados)		1,54	
Idem	Granite de Guernesey		1,31	
13 décembre 1880.	Meulière de Villiers-sur-Marne		1,096	
Idem	Granite à grains fins de Guernesey		1,206	
Idem	Quartzite des Ardennes		0,868	
21 avril 1881....	Porphyre de la Loire		1,56	
Idem	Pierre de Rauchot (Jura)		0,91	
Idem	Pierre des environs de Villiers-sur-Marne		1,496	
Idem	Terres cuites	Type jaune	1,43	
		Type noir	1,42	
		Type violet	2,91	
Idem	Porphyre de Voutré		1,60	
7 juin 1882.....	Porphyre de Voutré....	noir choisi	1,08	
		noir sans choix	1,21	
		vert tout venant	1,49	
Idem	Porphyre de Lessines		1,08	
22 juin 1882.....	*Idem*		1,13	
Idem	Meulière d'Épernon		1,27	
Idem	Meulière de la Houssaye (Seine-et-Marne)		2,28	
Idem	Pierres de Monthermé (Ardennes)		0,84	
Idem	*Idem*		0,97	
Idem	Porphyre de Lessines		1,08	
Idem	Porphyre de Quénast		0,77	
Idem	*Idem*		0,76	
Idem	Porphyre belge		1,27	
Idem	*Idem*		1,32	
Idem	Porphyre de Voutré		1,57	
Idem	*Idem*		1,24	

ANNEXE C.

LABORATOIRE DE LA VILLE DE PARIS.

Liste des échantillons de matériaux de pavage avec leur coefficient d'usure présentée à l'Exposition universelle de 1889.

NUMÉROS D'ORDRE.	NATURE DE LA PIERRE.	PROVENANCES.	SITUATION GÉOLOGIQUE.	COEFFICIENT d'usure.	OBSERVATIONS.
		I. — GRÈS QUARTZITES, GRANITES ET PORPHYRES.			
1	Grès de 1er choix	Carrière des Maréchaux, vallée de l'Yvette (Seine-et-Oise).	Terrains tertiaires, Miocène inf., Sables de Fontainebleau.	0,89	Les pavés (grès, porphyres et arkoses) dont le coefficient d'usure excède 2,40 ne sont pas employés à Paris.
2	*Idem*	*Idem*	*Idem*	1,23	
3	*Idem*	*Idem*	*Idem*	1,28	
4	Grès de 2e choix	*Idem*	*Idem*	1,68	
5	*Idem*	Gif, val. de l'Yvette (S.-et-O.).	*Idem*	2,06	
6	Grès de 1er choix	St-Chéron, vallée de l'Yvette (Seine-et-Oise)	*Idem*	0,94	Le 1er choix comprend les pavés dont le coefficient d'usure ne dépasse pas 1,40.
7	*Idem*	*Idem*	*Idem*	1,15	
8	Grès de 2e choix	*Idem*	*Idem*	1,95	
9	Grès de rebut	*Idem*	*Idem*	2,68	Le 2e choix est compris entre 1,40 et 2,40.
10	Grès de 1er choix	Ballancourt, val. de l'Essonne (Seine-et-Oise)	*Idem*	1,08	
11	*Idem*	*Idem*	*Idem*	1,22	
12	Grès de 2e choix	*Idem*	*Idem*	2,22	
13	Grès de 1er choix	La Ferté-Alais, vallée de l'Essonne (Seine-et-Oise)	*Idem*	1,38	
14	*Idem*	Champeneil, val. de l'Essonne (Seine-et-Oise)	*Idem*	1,40	
15	*Idem*	Épernon (Eure-et-Loire)	*Idem*	0,96	
16	*Idem*	Bosc-Melet (Seine-Inférieure)	*Idem*	1,12	
17	Grès de 2e choix	Noisy-sur-École (S.-et-O.)	*Idem*	1,94	
18	*Idem*	*Idem*	*Idem*	2,53	
19	Grès de rebut	Vierzon (Cher)	Miocène	2,65	
20	*Idem*	La Garde (B.-du-Rhône)	*Idem*	3,21	
21	Grès de 1er choix	Lisy-Ocquerre (Seine-et-Oise)	Éocène moyen	1,07	
22	Grès de 2e choix	*Idem*	*Idem*	1,91	
23	*Idem*	Étaples (Pas-de-Calais)	Éocène inférieur	1,61	
24	Grès de 1er choix	St-Valéry-en-Caux (Seine-Inf.)	*Idem*	1,24	
25	*Idem*	Varangeville (Seine-Infér.)	*Idem*	0,65	
26	*Idem*	Quiberville (Seine-Infér.)	*Idem*	0,83	
27	*Idem*	Brétigny (Aisne)	*Idem*	1,07	
28	*Idem*	Chiéry (Aisne)	*Idem*	0,68	

NUMÉROS D'ORDRE.	NATURE DE LA PIERRE.	PROVENANCES.	SITUATION GÉOLOGIQUE.	COEFFICIENT D'USURE.	OBSERVATIONS.
29	Grès de 1er choix	Fossoy (Aisne)	Eocène inférieur	1,36	
30	Grès de 2e choix	Oulchy (Aisne)	*Idem*	1,42	
31	Grès de 1er choix	Charmel (Aisne)	*Idem*	1,27	
32	*Idem*	Bois de la Jutte (Aisne)	*Idem*	1,05	
33	Arkose à gros grains	Autun (Saône-et-Loire)	Terr. jurassiq. lias.	0,58	
34	Arkose à grains moyens	*Idem*	*Idem*	0,85	
35	Arkose avec feldspath décomposé	*Idem*	*Idem*	1,04	
36	Arkose brun rouge clair	*Idem*	*Idem*	1,35	
37	*Idem*	La Clayette (Saône-et-Loire)	*Idem*	1,41	
38	*Idem*	Charollais (Saône-et-Loire)	*Idem*	1,19	
39	*Idem*	*Idem*	*Idem*	1,42	
40	Arkose (rebut)	Mornay (Saône-et-Loire)	*Idem*	2,27	
41	*Idem*	Sennecey (Saône-et-Loire)	*Idem*	0,79	
42	*Idem*	Sainte-Sabine (Côte-d'Or)	*Idem*	1,38	
43	Grès d'Ascain	Ascain (Basses-Pyrénées)	Trias (grès bigarré)	1,76	
44	Grès, 1er choix rouge	Wœtlinshoffen (Vosges)	Terrain pénéen	0,81	
45	*Idem*	*Idem*	*Idem*	1,03	
46	Grès (rebut)	*Idem*	*Idem*	3,54	
47	*Idem*	*Idem*	*Idem*	6,54	
48	Grès, 1er choix	Jonvelle (Haute-Saône)	*Idem*	1,18	
49	Grès	Avesnes (Nord)	Terrain dévonien	1,54	
50	*Idem*	Jeumont (Nord)	*Idem*	1,17	
51	*Idem*	*Idem*	*Idem*	1,74	
52	*Idem*	Tourcoing (Nord)	*Idem*	1,90	
53	*Idem*	*Idem*	*Idem*	2,03	
54	*Idem*	Héryes-sur-Hayles (Ardennes)	*Idem*	0,97	
55	*Idem*	Hayles (Ardennes)	*Idem*	2,13	
56	Poudingue	Héryes-sur-Hayles (Ardennes)	*Idem*	1,25	
57	*Idem*	Fépin (Ardennes)	*Idem*	1,14	
58	*Idem*	Cusset (Allier)	*Idem*	0,82	
59	Grès	Han-sur-Sambre (Belgique)	*Idem*	1,68	
60	*Idem*	Dinant (Belgique)	*Idem*	1,83	
61	Grès n° 1	Evieux (Belgique)	*Idem*	3,10	
62	Grès n° 2	*Idem*	*Idem*	3,34	
63	*Idem*	L'Ourthe (Belgique)	*Idem*	3,45	
64	*Idem*	*Idem*	*Idem*	2,88	
65	*Idem*	Spy (Belgique)	*Idem*	1,92	
66	*Idem*	Ry-de-Flandre (Belgique)	*Idem*	1,67	
67	*Idem*	Haltin (Belgique)	*Idem*	1,93	
68	*Idem*	Auseremme (Belgique)	*Idem*	1,44	
69	*Idem*	Lobles (Belgique)	*Idem*	1,16	
70	*Idem*	Huy (Belgique)	*Idem*	1,17	
71	*Idem*	Attre (Belgique)	*Idem*	2,99	
72	*Idem*	Poulseur (Belgique)	*Idem*	3,21	

NUMÉROS D'ORDRE.	NATURE DE LA PIERRE.	PROVENANCES.	SITUATION GÉOLOGIQUE.	COEFFICIENT D'USURE.	OBSERVATIONS.
73	Grès n° 2	Poulseur (Belgique)	Terrain dévonien	1,79	
74	*Idem*	Ecaussines (Belgique)	*Idem*	2,17	
75	*Idem*	Fépin (Ardennes)	*Idem*	0,97	
76	Quartzite de 1er choix	Cherbourg (Manche)	Terrain silurien	0,52	
77	*Idem*	Courgain (Calvados)	*Idem*	0,82	
78	*Idem*	Erquy (Côtes-du-Nord)	*Idem*	0,67	
79	*Idem*	*Idem*	*Idem*	0,84	Carr. de l'Ourtouët.
80	*Idem*	Domfront (Orne)	*Idem*	0,53	
81	*Idem*	May (Calvados)	*Idem*	0,47	
82	*Idem*	La Croxille (Mayenne)	*Idem*	0,94	
83	*Idem*	Rouessé (Mayenne)	*Idem*	0,62	
84	*Idem*	Couptrain (Mayenne)	*Idem*	0,66	
85	*Idem*	*Idem*	*Idem*	0,69	
86	Granite	Flamanville (Manche)	Terrain primitif	2,23	
87	*Idem*	Montjoie (Manche)	*Idem*	2,36	
88	*Idem*	Vire (Orne)	*Idem*	2,11	
89	*Idem*	Ste-Honorine (Orne)	*Idem*	2,85	
90	*Idem*	La Varenne (Orne)	*Idem*	2,56	
91	*Idem*	Cerisy (Orne)	*Idem*	2,31	
92	*Idem*	Montour (Ille-et-Vilaine)	*Idem*	3,12	
93	*Idem*	Lanhelin (Ille-et-Vilaine)	*Idem*	3,41	
94	*Idem*	Louvigné (Ille-et-Vilaine)	*Idem*	2,33	
95	*Idem*	Songéal (Ille-et-Vilaine)	*Idem*	3,08	
96	*Idem*	Kersanton (Finistère)	*Idem*	4,30	
97	*Idem*	Laber (Finistère)	*Idem*	2,41	
98	*Idem*	Saint-Jacut (Côtes-du-Nord)	*Idem*	1,90	
99	*Idem*	Pyrié (Côtes-du-Nord)	*Idem*	2,59	
100	*Idem*	Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord)	*Idem*	2,27	
101	*Idem*	Saint-Marc (Ille-et-Vilaine)	*Idem*	3,14	
102	Granite (rose)	Ile Grande (Côtes-du-Nord)	*Idem*	4,09	
103	Granite (blanc)	*Idem*	*Idem*	3,27	
104	*Idem*	Bonnemain (Ille-et-Vilaine)	*Idem*	1,78	
105	*Idem*	*Idem*	*Idem*	2,44	
106	*Idem*	*Idem*	*Idem*	2,17	
107	Granite (du syndicat)	Saint-Amé (Vosges)	*Idem*	1,51	
108	Granite	*Idem*	*Idem*	1,82	
109	*Idem*	*Idem*	*Idem*	1,57	
110	*Idem*	Staingigoutte (Vosges)	*Idem*	1,35	
111	*Idem*	Rain d'Autrey (Vosges)	*Idem*	1,52	
112	*Idem*	Hautgrain (Vosges)	*Idem*	1,26	
113	*Idem*	La Graine (Vosges)	*Idem*	1,39	
114	*Idem*	Rain de Satyres (Vosges)	*Idem*	1,15	
115	*Idem*	Fayet (Auvergne)	*Idem*	2,76	
116	*Idem*	Saint-Remy (Auvergne)	*Idem*	1,74	

NUMÉROS D'ORDRE.	NATURE DE LA PIERRE.	PROVENANCES.	SITUATION GÉOLOGIQUE.	COEFFICIENT d'usure.	OBSERVATIONS.
117	Granite	Luzy (Nièvre)	Terrain primitif	1,93	
118	*Idem*	Conzieux près Montb. (Loire)	*Idem*	1,41	
119	*Idem*	Saint-Raphaël (Var)	*Idem*	1,75	
120	*Idem*	*Idem*	*Idem*	4,08	
121	Granite (porphyroïde)	*Idem*	*Idem*	2,40	
122	*Idem*	Guernesey (Angleterre)	*Idem*	2,44	
123	*Idem*	*Idem*	*Idem*	1,60	Empl. à Londres.
124	*Idem*	Aberdeen (Angleterre)	*Idem*	1,77	*Idem.*
125	*Idem*	Montsorel (Angleterre)	*Idem*	1,36	*Idem.*
126	Pierre de l'Arma	Près San Remo (Italie)	*Idem*	2,40	
127	Porphyre vert	Voutré (Mayenne)	Terrain primitif	0,70	
128	Porphyre brun	*Idem*	*Idem*	0,46	
129	Porphyre brun clair	*Idem*	*Idem*	1,19	
130	Porphyre	Près Roanne (Loire)	*Idem*	1,05	
131	*Idem*	Saint-Révérien (Nièvre)	*Idem*	1,00	
132	*Idem*	Saint-Raphaël (Var)	*Idem*	3,06	
133	*Idem*	Schirmeck (Vosges)	*Idem*	1,29	
134	*Idem*	Quenast (Belgique)	*Idem*	0,68	
135	Porphyre rougeâtre	*Idem*	*Idem*	0,76	
136	*Idem*	*Idem*	*Idem*	0,95	
137	Porphyre à cristaux jaunes	*Idem*	*Idem*	0,67	
138	*Idem*	Lessine (Belgique)	*Idem*	1,35	
139	Porphyre	Oldenbourg (Oldenbourg)	*Idem*	6,46	
140	*Idem*	Palatinat (Bavière)	*Idem*	2,37	
141	Mélaphyre	Bourbach-le-Haut (Alsace)	*Idem*	1,53	
142	Syénite	Monchérus (Nièvre)	*Idem*	0,88	
143	Lave basaltique	Andernach (Prusse)	*Idem*	3,13	
144	Basalte	*Idem*	*Idem*	1,65	
145	Lave	Vésuve (Italie)	*Idem*	3,74	
146	*Idem*	*Idem*	*Idem*	3,84	
147	Diorite verte	St-Denis-de-Gâtine (Ille-et-V.)	*Idem*	2,08	
		II. — CALCAIRES.			
148	Pierre calcaire	Souppes (Seine-et-Marne)	Tertiaire miocène	11,15	
149	*Idem*	La Ciotat (Var)	*Idem*	6,58	
150	Calcaire siliceux	*Idem*	*Idem*	6,03	
151	Pierre calcaire	Château-Laudon (S.-et-M.)	Tertiaire éocène	11,52	
152	*Idem*	Euville (Meuse)	Jurassique coralien	18,08	
153	*Idem*	Givet (Ardennes)	Dévonien	2,44	
154	Grès calcaire	Taggio (Italie)	Eocène	1,48	
155	*Idem*	*Idem*	*Idem*	1,92	
156	Calcaire	La Spezzia (Italie)	*Idem*	2,59	
157	Petit granite	Soignies (Belgique)	Dévonien	8,73	
158	Calcaire	Tournay (Belgique)	*Idem*	5,03	
159	*Idem*	Ecaussines (Belgique)	*Idem*	6,21	

NUMÉROS D'ORDRE.	NATURE DE LA PIERRE.	PROVENANCES.	SITUATION GÉOLOGIQUE.	COEFFICIENT d'usure.	OBSERVATIONS.
		III. — MATÉRIAUX NORVÉGIENS.			
160	Grès	Holmestrand (Norvège)		1,31	
161	*Idem*	*Idem*		0,94	
162	*Idem*	Drammen (Norvège)		1,63	
163	*Idem*	Slemmestas (Norvège)		2,07	
164	*Idem*	Gjéloën (Norvège)		4,54	
165	Granite	Drammen (Norvège)		2,35	
166	*Idem*	*Idem*		1,99	
167	Trapp	*Idem*		2,53	
		IV. — MATÉRIAUX ARTIFICIELS.			
168	Granite artificiel			6,02	
169	Produit céramique			6,15	
170	Brique céramique			3,44	
171	*Idem*			7,41	
172	*Idem*			3,84	
173	Brique de Forges-les-Eaux (près Neufchâtel)			6,17	
174	Brique			31,46	
175	Grès céramique de Quéragon (Belgique)			1,95	
176	Pavé céramique de Fontainebleau			9,35	
177	Béton aggloméré (Asnières)			6,01	
178	*Idem*			4,23	
179	*Idem*			6,54	
180	Béton de ciment, marbre et gravier			8,80	
181	Laitier de forges			1,91	
182	*Idem*			2,55	
183	*Idem*			2,42	
184	Bloc bitumineux avec fragments de marbre			22,00	

ANNEXE D.

NOTE SUR L'ÉTUDE DE LABORATOIRE DES BOIS DE PAVAGE.

L'étude des bois destinés au pavage ne paraît pas avoir été avant 1894 entreprise méthodiquement.

Les essais effectués en 1894 au laboratoire de l'École nationale des Ponts et Chaussées ont démontré l'extrême influence de l'humidité sur les conditions de résistance des bois suivant que le bois est sec (étuvé à 30° jusqu'à cessation de perte du poids) ou imbibé.

Les modules d'élasticité et les charges de rupture par flexion diminuent du quart, du tiers, presque de la moitié pour certains bois; la résistance à l'écrasement, pour les bois tendres, diminue de plus de la moitié, tandis que les affaissements font plus que doubler. Le bois humide, par contre, sous le choc s'affaisse moins que le bois desséché bien que l'affaissement soit sensible sous un nombre inférieur de coups. Les poussées exercées par les bois mouillés, leurs dilatations, les densités dépendent naturellement de la quantité d'eau primitivement contenue. Il est donc essentiel, pour comparer des bois, de tenir compte de cet état d'humidité, et les résultats qui ont été fournis jusqu'ici dans divers essais de laboratoire ou qui sont cités dans divers ouvrages restent viciés ou douteux par le seul fait que l'état d'humidité des bois n'a pas été défini.

Il convient donc de ramener les bois à des états autant que possible analogues : 1° de dessiccation par l'étuvage à 30° jusqu'à cessation de perte de poids; cette température paraît convenable, en ce sens qu'elle se rapproche des conditions de dessiccation de la pratique et qu'elle n'altère point la structure et la composition du bois[1]; 2° d'imbibition; celle-ci peut être réalisée par immersion soit pendant un même temps déterminé, soit jusqu'à saturation, si on a le temps; l'imbibition n'arrive à être absolument complète qu'au bout d'un temps assez long pouvant aller jusqu'à deux et trois mois et variable suivant les essences[2].

On obtiendra ainsi des bois placés dans des conditions extrêmes qui différeront sans doute toutes deux des conditions ordinaires de la pratique, notamment en ce qui concerne le pavage en bois, mais on en pourra tirer en général, des conclusions valables pour les positions intermédiaires surtout si les classements des positions extrêmes sont concordants ou si l'écart entre les résultats extrêmes est faible.

Divers éléments sont à étudier pour apprécier la qualité de bois pour pavages :

1° Résistance à l'usure qui est un facteur de l'élasticité et des résistances à l'écrasement, au frottement, à la percussion;

2° Dilatations et poussées sous l'influence de l'humidité;

3° Résistance à la pourriture.

Cette dernière ne se prête point aux essais physiques de laboratoire et a dû être laissée de côté.

---

[1] Les bois perdent toute leur eau vers 130° ou 140° c^e^; à une température plus élevée, ils commencent à se décomposer; ils perdent par évaporation naturelle et lente l'eau libre et arrivent ainsi à l'état de dessiccation dite complète, mais conservent alors encore l'eau hygrométrique, 15 à 17 p. 100 du bois dit desséché.

[2] L'absorption est cependant à peu près complète au bout de 15 jours et le maximum est atteint au bout d'un mois ou peu s'en faut.

				dans les 15 premiers jours.	dans les 15 jours suivants.	dans les 15 jours suivants.
				—	—	—
Un pavé des Landes	gemmé, créosoté.	pesant 1 kg 509	gagne	0 kg 267	0 kg 069	0 kg 003
	non gemmé.....	— 1 132	—	0 228	0 083	0 020
——— Pitchpin.....		— 1 348	—	0 236	0 081	" "
——— Jarrah.....		— 1 864	—	0 221	0 073	0 005
——— Karri.....		— 2 257	—	0 134	0 024	0 030
——— Liem.....		— 2 280	—	0 162	0 021	0 026
——— Teak.....		— 1 043	—	0 208	0 026	0 002
——— Sapin Vosges, pied.....		— 1 341	—	0 239	0 103	0 018
——— Jura, pied.....		— 1 258	—	0 273	0 027	0 008
——— Jura, cime.....		— 1 059	—	0 394	0 042	0 02

Ces pavés avaient été pris comme ils se trouvaient au dépôt et non desséchés.

ÉLASTICITÉ.

L'*élasticité* du bois doit jouer un certain rôle dans sa résistance à l'usure.

Les bois soutiennent d'autant mieux le choc qu'ils sont plus élastiques et plus résistants.

Le travail du choc est transmis en partie à la fondation, en partie au véhicule choquant qui rebondit, le reste est absorbé par le bois qui subit une déformation dont le caractère et la permanence varient d'après son élasticité. Dans une chaussée, ces phénomènes s'accentuent d'autant plus que la surface est devenue plus inégale, et ils prennent pour un revêtement flacheux une réelle importance.

La réaction sur le corps choquant n'a pas encore été étudiée au laboratoire des Ponts et Chaussées; elle pourrait l'être et aurait un certain intérêt.

Les essais à la flexion ont donné une indication de l'élasticité des divers bois et ont fourni les classifications suivantes :

MODULES D'ÉLASTICITÉ.

BOIS CLASSÉS DANS L'ORDRE DE DENSITÉ.	BOIS SECS.		BOIS IMBIBÉS.		QUANTITÉ D'EAU ABSORBÉE.	OBSERVATIONS.
					p. o/o.	
Bois de fer de Bornéo	1	2.126	1	1.683	1,4	
Liem du Tonkin	3	1.761	3	1.624	3	
Karri (Australie)	2	1.933	2	1.628	2,8	
Jarrah (Australie)	4	1.715	9	809	10,8	Trop faible densité de l'échantillon.
Pitchpin Floride	5	1.510	5	1.224	9	
Teak de Java	6	1.500	4	1.350	2,9	
Pin des Landes gemmé	8	1.223	8	979	14	
Pin des Landes non gemmé	7	1.458	7	1.045	19	
Pin rouge du Nord	9	1.210	6	783	18,8	
Épicéa du Jura, pied	10	1.003	11	668	18,7	
Épicéa du Jura, cime	11	843	10	1.153	20,1	Anomalie, bois très dense.

La classification à l'état sec suit l'ordre des densités sauf pour les pins gemmés et non gemmés.

On savait déjà que le gemmage réduisait l'élasticité et que par une préoccupation peut-être excessive le bois gemmé n'était pas admis pour les poteaux des télégraphes et des mines.

Sauf certaines anomalies dues aux densités anormales de certains échantillons la classification reste à peu près la même pour les bois imbibés mais les modules diminuent très sensiblement. Il est à noter combien le liem est peu impressionné par l'imbibition.

Les échantillons qui ont été mis *le même temps* dans l'eau ont absorbé des quantités très variables d'eau, et ce sont les bois qui ont les modules les plus élevés à l'état sec qui en ont en général absorbé le moins ; il y avait une double raison pour que leur module se maintînt élevé à l'état mouillé.

USURE PAR FROTTEMENT.

Les essais d'usure par frottement donnent des indications plus intéressantes pour la résistance des pavages en bois, bien que le frottement ne soit point la cause la plus importante de destruction.

Les essais faits sur des bois desséchés puis imbibés pendant cinq ou six jours[1] fournissent la classification suivante :

			mm.	
Fer		3	5,75	pour 2.000 tours de meule.
Liem		2	5,15	
Karri		1	4,55	
Jarrah		5	6,5	
Pitchpin		4	5,85	
Teak		7	8,5	
Landes.	Gemmé	6	8,2	
	Non gemmé	11	11,15	
Nord		8	8,95	
Jura, pied		9	9,7	
Jura, cime		10	10,1	

[1] Les essais de M. Salle, ingénieur des Ponts et Chaussées, ont montré que le bois s'use plus à l'état humide qu'à l'état sec et l'usure arrive ainsi à plus que doubler.

La direction des couches du bois influe peu sur les résultats: pratiquement, dans une chaussée, les pavés présenteraient toutes les orientations de couches possibles. Des tares dans le bois, des variations importantes de densité peuvent entraîner des modifications très importantes dans les résultats : des pitchpins de faible densité (642) donnaient une usure de 7 mm. environ, à la densité (739) 6 mm. 2, (787) 5 mm. 5; du jarrah de densité (772) donne 11 mm.; de (894) 6 mm. 5.

Des fentes, des fibres contournées font varier l'usure du simple au double.

On peut en déduire l'extrême importance du choix des bois réguliers, de densité s'écartant aussi peu que possible de la moyenne. Pour une même essence, la résistance croît avec la densité.

ÉCRASEMENT.

Les essais ont porté sur des bois secs et sur des bois imbibés par immersion prolongée taillés en prismes de 0 m. 12 et de 0 m. 15 de haut; d'autres essais ont montré que cette différence de hauteur n'exerce pas d'influence appréciable, et la réduction de la queue des pavés n'a point d'inconvénients à ce point de vue.

Le classement suivant peut être établi :

ESSENCES.	CHARGE DE RUPTURE EN KILOGRAMMES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ.			
	BOIS SEC.		BOIS IMBIBÉ.	
Fer	2	886	1	735
Liem	1	935	2	706
Karri	5	659	5	378
Jarrah	6	553	6	330,5
Pitchpin	3	709	4	386
Teak	4	684	3	426
Landes gemmé	7	531	7	280
Landes non gemmé	8	507	8	215
Nord	11	418	9	197
Jura, pied	9	470	11	166
Jura, cîme	10	452	10	169

Sauf pour le bois de fer et le liem; l'humidité réduit d'une manière très importante (du 1/3 à plus de la 1/2) la résistance.

Dans la pratique on reste loin des charges d'écrasement; les charges du gros camionnage correspondent au plus à 15 kilogrammes par centimètre carré de surface portant des roues; elles n'arrivent à être doublées que dans des cas exceptionnels.

Les affaissements même sous les charges lourdes sont peu importants et moindres qu'on ne l'imagine pour la charge de 100 kilogrammes la plus voisine de la pratique ils varient en général entre 0 mm. 2 et 0 mm. 4; ils peuvent doubler, tripler, et quadrupler sous l'influence de l'imbibition. Ce caractère n'a point grande importance dans la pratique, croyons-nous.

Nous noterons plutôt ce fait que les affaissements des bois humides (en particulier des bois tendres) persistent moins la charge enlevée, et que pendant la charge les fibres s'infléchissent en augmentant la section; il peut en résulter une certaine désorganisation des joints du pavage.

CHOC.

Le choc est un des éléments de destruction les plus importants du pavage en bois. Tout d'abord la percussion du pied du cheval entre en ligne, et son action apparaît nettement dans les rampes, les voies de tramways, les stations d'omnibus; cette percussion est plus fréquente et plus vive aux allures de vitesse, et l'on peut constater que les chaussées à circulation même légère mais rapide fatiguent plus que celles soumises à la circulation lente de lourdes charges. A cette action s'ajoute celle du choc des véhicules qui se fait sentir d'autant plus que la chaussée est devenue plus inégale et plus cahotante; elle est plus marquée dans les chaussées à joints larges, que dans celles à joints serrés.

Les essais de choc, bien qu'il soit difficile de les effectuer dans les conditions mêmes de la pratique, sont donc, selon nous, particulièrement intéressants. Ceux effectués au laboratoire des Ponts et Chaussées se sont approchés autant que possible de ces conditions et ont reproduit les phénomènes d'écrasement et de courbure des fibres qu'on observe dans les pavés extraits des chaussées.

L'affaissement est beaucoup plus rapidement obtenu et beaucoup plus important que par l'écrasement; il est beaucoup plus *vite* sensible pour les bois imbibés que pour les bois secs, mais disparaît pour les premiers en partie, tandis que pour les autres il reste presque entièrement acquis et l'affaissement final est aussi moins fort.

Les phénomènes de fente et de rupture en éclats qui se produisent aux essais sur les bois durs ne paraissent pas se réaliser dans la pratique.

Le classement suivant peut être établi :

ESSENCES.	AFFAISSEMENT EN MILLIMÈTRES POUR UN MÊME NOMBRE DE COUPS.				NOMBRE DE COUPS à partir desquels L'AFFAISSEMENT EST SENSIBLE.			
	Bois secs.		Bois imbibés.		Bois secs.		Bois imbibés.	
Fer	1	2,4	1	0,8	3	13,5	2	9,5
Liem	2	3	2	1.2	1	14,75	1	10
Karri	3	4	5	3,1	4	13	4	7
Jarrah	6	5	4	3.05	3	9,75	5	6,5
Pitchpin	5	4,7	6	3.6	6	9.25	6	6,5
Teak	4	4,3	3	2,2	2	13,75	3	7
Landes gemmé	7	6,65	8	4,4	7	8,25	7	5
Landes non gemmé	9	8,6	10	4,9	8	5,75	8	4
Nord	8	9,8	11	7	10	4,75	11	1,50
Jura, pied	11	9,5	7	3,95	9	5	9	4
Jura, cime	10	8,5	9	4,8	11	4,25	10	3,5

DENSITÉS.

Au cours des divers essais on a eu occasion de mesurer les densités des bois; les écarts entre les limites extrêmes sont assez variables suivant les essences et peuvent se résumer ci après :

ESSENCES.	MINIMUM.	MAXIMUM.	MOYENNE.	ÉCART MAXIMUM.	CLASSEMENT.
Fer	1.036	1.140	1.101	104	3
Liem	852	1.037	950	185	8
Karri	831	1.000	943	169	7
Jarrah	732	934	855	202	10
Pitchpin	642	1.020	778	378	11
Teak	600	732	662	132	3
Landes, gemmé	578	709	650	131	4
Landes, non gemmé	523	659	578	136	6
Nord	411	609	487	198	9
Jura, pied	380	475	422	95	2
Jura, cîme	374	441	398	67	1

La densité influe sur les résistances à l'écrasement et au choc.

L'égale usure d'un pavage en bois et son homogénéité sont des qualités essentielles; la constance de densité est donc une qualité de première importance et il y a lieu de tenir grand compte du classement qui précède. Il est à noter en particulier combien le pitchpin qui présente cependant des qualités de premier ordre a des densités variables, et l'on trouve là l'explication de certains insuccès qui ont pu paraître étranges. Il en est encore ainsi bien que dans une mesure moindre du jarrah et du bois du Nord.

Les échantillons de bois du Jura cîme et pied avaient des densités qui se mêlaient, et l'on s'explique que les résistances aux divers essais mécaniques soient peu différentes.

POUSSÉES.

La poussée du bois est parfois fort gênante (voies de tramways et bordures) et il est intéressant d'examiner les bois à ce point de vue.

Les bois durs et les bois tendres se comportent diversement quand ils sont soumis à l'action de l'immersion.

ESSENCES.	POUSSÉES AU BOUT DE						MAXIMUM DE POUSSÉE AU BOUT DE	
		3 heures.		2 jours.		5 jours.		
		kg.		kg.		kg.	jours.	kg.
Fer	1	32	1	100	1	128	12	155
Liem	2	41	2	172	2	237	8	269
Karri	4	45	3	249	3	318	14	733
Jarrah	6	73	6	381	8	716	11	1.116
Pitchpin	7	115	8	513	9	773	9	967
Teak	3	37	4	260	4	396	10	513
Landes, gemmé	8	224	10	619	11	878	10	990
Landes, non gemmé	9	337	7	477	5	563	8	527
Nord	5	67	5	334	6	448	6	455
Jura, pied	10	148	9	525	7	565	5	565
Jura, cîme	11	372	11	812	10	848	5	848

Les bois durs qui s'imbibent plus lentement que les bois tendres donnent au début des poussées moindres, leur maximum de poussée est atteint au bout de plus de temps et est en général supérieur au maximum de poussée des bois tendres.

Le bois de fer et le liem surtout, et aussi le teak exercent des poussées très faibles et absorbent peu d'eau. Le jarrah et le pitchpin bien qu'absorbant des quantités limitées d'eau poussent extrêmement, de même le gemmé malgré une absorption moindre que le non gemmé exerce une poussée beaucoup plus vive. Le phénomène est curieux et ne serait sans doute expliqué que par un examen microscopique de la texture du bois.

L'imbibition sur la voie publique [1] se fait d'une manière différente [2], puisqu'elle ne s'opère que par une face du pavé, et par l'extrémité des fibres souvent protégées par une couche de gravillon. Des essais qui précèdent il n'en résulte pas moins des indications intéressantes qui expliquent la diversité des phénomènes de poussée suivant les essences des bois et la durée de la cause d'humidité; et font ressortir l'importance de ces poussées qui pour un pavé complètement imbibé peuvent atteindre près

[1] Des essais ultérieurs ont montré que les pavés extraits de la voie publique étaient imbibés presque à saturation et que le karri et le liem contenaient beaucoup plus d'eau qu'ils n'en avaient absorbé dans les essais de laboratoire.

[2] Les variations de poids constatées au dépôt pour des pavés empilés dans la cour, comparées à la variation des pavés empilés sous les hangars, donnent une idée de la quantité d'eau que les pavés peuvent recevoir par suite des intempéries. La dimension en long de 22 centimètres avec le maximum d'humidité s'est accrue de 5 millimètres; les pavés placés sous le hangar, bien qu'ayant décru de poids, se sont également dilatés, mais dans des conditions plus capricieuses.

	PAVÉS CRÉOSOTÉS EMPILÉS					
	DANS LA COUR				SOUS LES HANGARS.	
	gemmés.		non gemmés.		gemmés.	non gemmés.
	grammes.		grammes.			
Décembre	7,750	écart maximum 0 g. 530	8,350	écart maximum 0 g. 370	7,680	8,170
Janvier	8,040		8,610		7,660	8,175
Février	8,225		8,730		7,600	8,170
Mars	8,280		8,720		7,530	8,130
Juin	7,945		8,330		7,230	7,815
Août	7,535		8 166		7,195	7,750

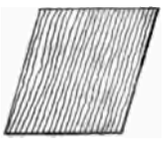
d'une tonne; les pavés rassemblés dans une chaussée pousseront moins à cause de l'élasticité des joints [1], mais on n'en conçoit pas moins combien il est difficile de s'opposer au renversement des bordures et des voies de tramways.

Ces poussées peuvent être atténuées par l'établissement des joints de rive maintenus meubles et l'enlèvement en temps utile de partie des ranges bordant ces joints.

DILATATION.

Il est donc intéressant d'étudier la dilatation linéaire des bois sous l'influence de l'humidité.

Les essais sur des pavés imbibés à saturation ont montré que la dilatation dans le sens des fibres est insensible, qu'elle est plus forte suivant les dimensions de la section en atteignant son maximum dans le sens tangent aux couches annuelles. On s'explique ainsi que des pavés à fibres inclinées (figure ci-contre) poussent moins que les pavés à fibres droites, et aussi que dans une chaussée ordinaire la poussée dans le sens longitudinal (coupé d'ailleurs par les joints) soit moindre que dans le sens transversal, la majorité des pavés présentant les lignes de leurs couches parallèles à cette dernière direction. Ce sont encore les bois de fer, le liem et le teak qui présentent les dilations minima, tandis que les autres bois donnent des dilatations doubles et triples [2] [3].



	MOYENNE DES DILATATION DANS LE SENS TRANSVERSAL p. 100.		QUANTITÉ D'EAU ABSORBÉE P. 100.	
Fer	1	0,55	1	3,8
Liem	2	1,3	3	9,2
Karri	10	5,15	2	5,6
Jarrah	8	4,5	6	20,6
Pitchpin	11	5,3	4	10,9
Teak	3	1,85	3	14,2
Pin gemmé	4	3,6	7	26,3
Pin non gemmé	9	4,7	11	40,3
Pin du Nord	6	4,3	10	33,8
Épicéa Jura, pied	7	4,4	9	33,7
Épicéa Jura, cîme	5	4,15	8	24

[1] Les essais de poussée faits sur deux pavés accolés, immergés, donnent en général des poussées inférieures au double de la poussée d'un pavé seul.

[2] Les essais de M. Salle, ingénieur des Ponts et Chaussées, qui se rapprochent davantage des conditions de la pratique, donnent 2 p. 100 au bout de deux jours pour des pavés desséchés d'abord, puis mouillés constamment par un filet d'eau.

[3] M. Lave a trouvé pour des bois bien desséchés imbibés à saturation :

	DILATATION LINÉAIRE P. 100 sur LA DIMENSION.		
	LONGITUDINALE.	RADIALE.	PÉRIPHÉRIQUE.
Acacia	0,035	3,84	8,52
Hêtre blanc	0,400	6,66	10,90
Cèdre	0,017	1,30	3,38
Ébène	0,01	2,13	4,07
Chêne jeune	0,400	3,90	7,55
Chêne vieux	0,130	3,13	7,78
Sapin	0,076	2,41	6,18

Le tableau ci-après donne les proportions généralement admises pour la proportion d'eau totale contenue dans les

Les dilatations comme les poussées ne paraissent point dépendre (sauf pour le fer, le liem et le teak) des quantités d'eau absorbées et tels bois qui, comme le karri et le pitchpin, absorbent peu, se dilatent extrêmement ; les dilatations ne sont point dans le même ordre de classement que les poussées.

La facilité d'absorption de l'eau a son intérêt au point de vue de l'hygiène et de la conservation du bois, et un bois aura des chances d'être d'autant plus sain et durable qu'il s'imbibera moins facilement des liquides éminemment putrescibles de la voie publique. Ces essais sont à compléter et le laboratoire s'en occupe, par l'examen du degré d'humidité des pavés recueillis sur la voie publique et de leur contraction après dessiccation.

Les indications qu'on obtiendra ainsi définiront mieux les conditions de la pratique, et en réalisant artificiellement par une immersion ou un arrosage d'une durée convenable un degré analogue d'humidité, on pourra faire porter les essais de résistance sur des bois se rapprochant de ceux des chaussées.

Conclusions.

Quoi qu'il en soit les essais qui ont déjà été faits permettent déjà des comparaisons intéressantes entre les divers bois.

Le tableau ci-dessous résume les classements obtenus dans les essais qui sont le plus probants pour la bonne tenue d'un pavage en bois :

BOIS.	DENSITÉ.	ÉCART DES DENSITÉS.	USURE PAR FROTTEMENT.	ÉCRASEMENT.		CHOC.		POUSSÉE.		DILATATION.	QUANTITÉ D'EAU ABSORBÉE.	TOTAUX.	ORDRE.
				SEC.	IMBIBÉ.	SEC.	IMBIBÉ.	3 HEURES.	2 JOURS.				
Fer	1	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	16	1
Liem	2	8	2	1	2	2	2	2	2	2	3	28	2
Karri	3	7	1	5	5	3	5	4	3	10	2	48	4
Jarrah	4	10	5	6	6	6	4	6	6	8	6	67	5
Pitchpin	5	11	4	3	4	5	6	7	8	11	4	68	6
Teak	6	5	7	4	3	4	3	3	4	3	5	47	3
Landes, gemmé	7	4	6	7	7	7	8	8	10	4	7	75	7
Landes, non gemmé	8	6	11	8	8	9	10	9	7	9	11	96	10
Nord	9	9	8	11	9	8	11	5	5	6	10	91	8
Jura, pied	10	1	9	9	11	11	7	10	9	7	9	93	9
Jura, cîme	11	2	10	10	10	10	9	11	11	5	8	97	11

Ce tableau fournit un classement moyen qui coïncide à peu près avec l'ordre des densités sauf pour le teak; il donne une supériorité très marquée dans tous les essais, d'abord au bois de fer, puis au liem,

bois. En retranchant 17 p. 100 de la colonne B pour tenir compte de l'eau hygrométrique on aura la proportion d'eau libre :

	PROPORTION P. 100.	
	du POIDS TOTAL A.	du POIDS BOIS SEC B.
Charme	18,6	22,8
Frêne	28,7	40,2
Chêne rouvre	34,7	53,1
Sapin (abiès)	37,1	58,9
Pin sylvestre	39,7	65,8
Hêtre	39,7	65,8
Orme	44,5	80,1
Sapin rouge	45,2	82,5
Mélèze	48,6	94,5
Peuplier blanc	50,6	102,5

au teak, et enfin au karri. Ce dernier bois, bien que très analogue de couleur et d'aspect et de même provenance que le jarrah, lui est nettement supérieur.

Le jarrah et le pitchpin viennent ensuite, avec l'un et l'autre de graves inconvénients (surtout pour le pitchpin d'avoir des densités très variables).

La catégorie des bois durs se termine là.

Le bois gemmé des Landes tient la tête des bois tendres et très nettement: il est dans tous les essais de résistance très supérieur au bois du Nord et ne lui est inférieur que pour les poussées, caractère en somme secondaire; il vaut beaucoup mieux que le non gemmé qui peut être assimilé au bois du Nord. Le bois du Jura n'a pour lui que sa constance de densité, mais il résiste mal aux causes d'usure et doit venir en somme le dernier dans la classification.

Il va de soi, que ces conclusions cependant assez nettes auraient une valeur bien plus grande, si elles étaient appuyées sur *un nombre très considérable d'essais.*

Ces résultats du laboratoire confirment-ils ceux de l'expérience pratique?

On a malheureusement au début, dans les pavages, exécuté peu de zones d'essais comparatives, et ce n'est guère que depuis un an que nous nous sommes efforcés de placer dans diverses rues des bandes de bois d'essences diverses posées dans des conditions de fatigue autant que possibles identiques.

Les usures sont très lentes et c'est à peine si les sondages de 1895 donneront quelques premières indications.

Nous ne pouvons donc citer que les quelques exemples suivants:

Dans Kings-Road à Londres, pour une circulation ramenée à l'unité de 1.000 tonnes par mètre de large l'usure annuelle a été : pitchpin 0,0036, sapin du Nord, 0,006; c'est à peu près le rapport fourni par les essais de résistance mécaniques du laboratoire.

Dans le Strand, en voie courante en 4 ans, le sapin du Nord a perdu 6 à 9 centimètres, le jarrah 2 cm. 5; à la station d'omnibus de Charing-Cross le sapin du Nord a duré 1 an et perdu 11 centimètres, le jarrah a duré 3 ans et perdu 5 cm. 7. A Saint-Pancras dans Eustonroad le jarrah a perdu en 2 ans 3 millimètres, le sapin au même joint et dans le même temps, 18 millimètres. A Fulham, en 3 ans 1/2, le jarrah a pris 1 à 2 centimètres de saillie sur le sapin voisin. Faubourg Montmartre (carrefour La Fayette), en 27 mois le jarrah a perdu 0,0085, le gemmé 0,0123; la supériorité accusée par les essais est très confirmée.

Celle du karri sur le jarrah l'est aussi; elle a été constatée à Londres: dans Kings-Road en 4 ans 1/2 le karri s'est usé de 6 millimètres de moins que le jarrah, celui-ci de 18 millimètres de moins que le sapin.

A Paris, rue La Fayette en 8 mois on trouve pour le karri 0 mm. 7 et 1 mm. 2 d'usure, pour le jarrah 0 mm. 8 et 1 mm. 8. Au guichet de Rohan en 7 mois 1/2 le karri perd sur les frayés des roues 7 millimètres, sur l'axe 0; le jarrah 15 millimètres, et 1 millimètre en 8 mois dans un autre guichet, le chêne a perdu 6 millimètres aux frayés et 3 millimètres sur l'axe. Le pin des Landes usait de 61 millimètres en 5 mois dans les frayés.

La supériorité du pin des Landes, même non gemmé, sur les pins des Cévennes a été marquée. Rue des Saussaies en 4 ans le non gemmé présente une usure de 0,008, pin des Cévennes 0,01, épicéa des Cévennes, 0,015.

Boulevard Bonne-Nouvelle en 4 ans le pitchpin a perdu 20 millimètres, le gemmé 22 millimètres.

Rue de Châteaudun (Ligne de tramways) entre les rues La Fayette et le faubourg Montmartre, les frayés des omnibus à 3 chevaux se sont accusés très fortement en moins de 6 mois sur le bois du Jura, d'une manière encore très marquée sur le bois des Vosges [1], et le bois du Nord (un peu moins); ils recommencent à peine à apparaître sur le bois des Landes gemmé.

Ailleurs on a, il est vrai, constaté (rue Jacob, boulevard des Batignolles) une supériorité du sapin du Nord sur le bois des Landes, mais l'origine de ce dernier et sa nature gemmée ou non gemmée est peu déterminée.

D'une manière générale les résultats de la pratique paraissent concorder avec ceux du laboratoire.

Il paraît donc intéressant de poursuivre les recherches de laboratoire et, en les multipliant, de les appliquer aux diverses essences susceptibles d'emploi.

Elles devront porter surtout sur les densités et sur les résistances au frottement, à l'écrasement, à la percussion, avec des bois secs ou non, avec des bois *traités ou non* par des *liquides antiseptiques* [2], en les plaçant dans des conditions d'humidité se rapprochant de celles de la pratique. Il serait intéressant également de déterminer la facilité du polissage du bois, le glissement étant un inconvénient à redouter des bois durs.

Les essais seraient à étendre à des pavés extraits des chaussées, revêtus de leur couche de gravillon, et dans leur état naturel d'humidité.

---

[1] Le bois des Vosges appartient à la même espèce que celui du Jura (*abiès pectinata*), mais paraît un peu plus résistant.

[2] Les constatations faites jusqu'ici donnent une usure un peu plus grande pour les bois créosotés que pour les bois non créosotés.

Il conviendra d'autre part, et nous nous en préoccupons, de compléter cette étude par un examen microscopique et physiologique des bois. Les résultats de cette étude, comparés à ceux de la pratique et des essais physiques permettront peut-être de prévoir sur des échantillons petits et peu nombreux les résistances que le bois pourrait fournir, sa facilité de polissage, etc. Cet examen pourra être des plus utiles pour le choix des essences les plus convenables entre les bois qui poussent pêle-mêle et si variés dans les forêts des colonies.

Dans les essais physiques et mécaniques, la résistance à la pourriture, qui est un des éléments les plus importants de succès, est forcément laissée de côté; l'examen microscopique qui indique la nature, l'importance des vaisseaux, leur degré d'obstruction, pourra peut-être fournir des indications utiles. Peut-être aussi pourrait-on tenter, par des trempages dans des bouillons de culture déterminés, de réaliser une corruption artificielle des bois injectés ou non, et arriver à un classement à ce point de vue.

L'étude des bois pour pavage, à peine ébauchée, est donc à poursuivre : elle fournira certainement des résultats intéressants dont l'utilité peut être des plus générales.

Paris, le 9 février 1895.

A. PETSCHE,

Ingénieur de la 3e section des travaux de Paris.

ANNEXE E.

NOTE SUR LES ESSAIS DES ASPHALTES ET DES BITUMES.

Essais des asphaltes.

L'essai d'une roche asphaltique comprend la détermination de la proportion de bitume qu'elle contient et l'analyse de la roche débarrassée de son bitume.

I. — Détermination de la proportion de bitume.

Nous ne parlerons pas des méthodes qui consistent à calciner la roche et à déterminer la proportion de bitume par la perte de poids subie. Dans ce cas, on doit tenir compte de l'eau et de l'acide carbonique perdus pendant la calcination. Cette méthode donne des résultats trop forts. La perte comprend, outre le bitume brûlé, les matières combustibles qui peuvent se trouver dans la roche, telles que lignites et soufre. Au laboratoire, on dose directement le bitume soluble dans le sulfure de carbone. L'opération se fait ainsi :

Après avoir pulvérisé des échantillons prélevés en divers points de la roche à essayer et les avoir bien mêlés de façon à avoir une poudre homogène, on laisse cette poudre exposée à l'air dans un endroit tiède, près d'une étuve ou d'un fourneau, suffisamment pour qu'elle ne renferme pas d'eau et qu'elle soit bien sèche.

On prend un gramme de cette poudre et on la fait tomber au fond d'un petit tube d'essai à bec de 0 m 20 de hauteur et de 0 m. 015 de diamètre. On verse par-dessus 10 centimètres cubes de sulfure de carbone pur, exempt de soufre et ne laissant aucun résidu par l'évaporation. Avec un bâton de verre, on agite la poudre asphaltique dans le sulfure, puis, avec une pissette, on fait couler dans le tube les quelques gouttes de sulfure qui auraient pu adhérer au bâton de verre. On bouche le tube d'essai et on le laisse vingt-quatre heures en repos. Au bout de ce temps, les matières insolubles dans le sulfure de carbone se sont déposées au fond du tube et le sulfure qui les recouvre tient le bitume en dissolution. Il doit, malgré sa coloration plus ou moins intense, être très clair; s'il paraissait trouble et contenir des matières en suspension, il conviendrait d'attendre que ces matières se soient complètement déposées. Alors on décante avec précaution dans une petite capsule de platine ou de verre, préalablement tarée, le sulfure de carbone en évitant l'entraînement d'aucune parcelle du précipité. On recouvre, comme la première fois, ce précipité avec 10 centimètres cubes de sulfure de carbone, on agite avec la baguette qu'on lave comme précédemment au-dessus du tube avec la pissette, on bouche de nouveau. On attend vingt-quatre heures; les matières insolubles se sont précipitées et le sulfure de carbone n'est plus que très légèrement coloré. On décante ce sulfure dans la même capsule que précédemment. On répète une troisième fois l'opération; généralement cela suffit, le sulfure de carbone reste entièrement limpide sans aucune coloration. S'il était encore coloré, on répèterait l'opération jusqu'à ce qu'il ne le soit plus.

Tout le sulfure de carbone, provenant des décantations successives, est réuni dans la même capsule préalablement tarée. Cette capsule est placée dans une boîte en bois dont les côtés à jour sont fermés par une toile métallique. Cette disposition permet aux vapeurs de sulfure de carbone de sortir de la boîte, sans qu'il se produise une évaporation trop rapide qui ferait remonter le bitume jusqu'aux bords de la capsule et pourrait produire des pertes.

Le sulfure de carbone s'évapore et laisse le bitume qu'il tenait en dissolution. Ce bitume peut contenir encore un peu de sulfure de carbone ainsi que de l'eau condensée par l'évaporation du sulfure. La capsule est alors portée dans une étuve à 100 degrés où l'eau et le sulfure sont complètement chassés ordinairement au bout de six heures. On pèse la capsule à plusieurs reprises et, lorsque son poids est devenu constant, il indique la quantité de bitume contenu dans un gramme de roche.

Si l'opération a été bien faite, en faisant brûler le bitume, il ne doit rester aucun résidu dans la capsule.

Le poids du bitume recueilli, ajouté à celui de la partie calcaire restée dans le tube, doit donner un gramme. Pour faire cette vérification, il faut avoir préalablement pesé le tube d'essai avec la matière à essayer. Après lavage complet de l'asphalte, on porte le tube à l'étuve à 100 degrés et lorsque son poids est devenu fixe, on le pèse de nouveau. Le poids perdu doit être égal à celui du bitume recueilli dans la capsule.

Cette méthode, qui permet une vérification facile, est celle qui est employée au Laboratoire de Paris.

Comme on le voit, l'essai se fait sur un gramme ou deux de matière; une plus grande quantité

rendrait l'opération plus difficile et moins sûre. Plus la masse de bitume est grande, plus il est difficile de la bien débarrasser du sulfure de carbone dans lequel elle est dissoute. Si la matière débarrassée de bitume est en masse un peu grande, il est difficile de la peser dans le vase où elle a été lavée et pour l'en sortir on éprouve des pertes.

Le dosage du bitume en procédant par différence, en lavant la roche bitumineuse, puis la jetant sur un filtre et séchant à l'étuve la masse épuisée, n'est pas exact; le sulfure de carbone entraîne avec lui une partie du calcaire très fin qui passe à travers le filtre. Si l'on devait procéder ainsi, il faudrait recueillir le liquide filtré dans de longues éprouvettes. Après un jour ou deux de repos, décanter le liquide, puis laver dans du sulfure de carbone le précipité qui s'est formé au fond de l'éprouvette, attendre qu'il se soit de nouveau déposé, le laver de nouveau et le jeter sur le filtre qui contient la masse épuisée. Alors le précipité très fin, qui a une première fois traversé le papier, est retenu par la masse de matière recueillie sur le filtre.

Cette méthode, qui n'est qu'approximative, ne peut être employée que si l'on opère sur une grande masse de matière (100 grammes par exemple) de façon à rendre négligeables les causes d'erreur.

II. — Analyse de la roche lavée et débarrassée du bitume.

Après l'extraction du bitume par le lavage dans le sulfure de carbone, l'analyse du résidu se fait par les procédés ordinaires d'analyse des calcaires. Mais, au point de vue de notre service, cette analyse n'a d'intérêt que pour rechercher les matières qui peuvent nuire aux travaux d'asphaltage. Ces matières sont :

Le sable, parce qu'il ne se prête pas aussi bien que le calcaire à la compression;

L'argile, parce qu'en quantité notable, elle produit des gonflements par l'humidité et des retraits par la chaleur;

Les pyrites de fer qui, par leur oxydation et leur transformation en sulfate de fer, sont une cause de prompte dégradation de la chaussée.

Les roches asphaltiques, débarrassées de leur bitume, n'ont pas toutes le même aspect.

Elles sont très blanches, lorsque le calcaire est très pur, plus grises, quand elles contiennent du sable, de l'argile ou des pyrites de fer.

On dissout dans l'acide chlorhydrique plusieurs grammes de la roche lavée, c'est-à-dire débarrassée de son bitume. Les calcaires purs ne laissent aucun résidu. Avant l'attaque, il faut faire bouillir la matière dans un peu d'eau distillée, parce qu'après le traitement par le sulfure de carbone la matière se laisse difficilement mouiller.

Si toute la masse s'est dissoute dans l'acide chlorhydrique sans produire de coloration bien sensible, il est inutile d'aller plus loin, la roche est un calcaire pur, la recherche de la magnésie et du fer est plus importante. Il n'y a ni sable, ni argile, ni pyrites de fer.

S'il y a une partie insoluble, on la sépare par décantation, on la lave à l'eau chaude, on la sèche et on l'examine à la loupe ou au microscope; on reconnaît alors le sable à son aspect grenu, généralement blanc et transparent, l'argile au précipité collant et non grenu, les pyrites à leur aspect noir avec des reflets bronzés et des facettes brillantes.

En chauffant ce précipité au rouge dans une petite capsule, les pyrites se reconnaissent ainsi à l'odeur d'acide sulfureux qu'elles dégagent pendant la calcination.

1° *Dosage du sable.* — On prend, si le sable est abondant, un gramme de roche lavée, ou davantage s'il n'y en a que de petites quantités, on traite par l'acide chlorhydrique et on recueille sur un filtre ce précipité insoluble; on le lave jusqu'à ce que l'eau de lavage ne rougisse plus le papier de tournesol bleu. On sèche à l'étuve, on fait tomber le précipité dans une petite capsule, on brûle le filtre, on ajoute les produits de cette calcination au précipité et on chauffe le tout au rouge. On laisse refroidir et on pèse. En déduisant le poids des cendres du filtre, on a le poids du sable.

2° *Dosage de l'argile.* — Il se fait comme celui du sable; cependant l'acide chlorhydrique, sans action sur le sable, peut attaquer l'argile. Dans ce cas, avant de séparer le résidu insoluble, on évapore à sec la dissolution chlorhydrique, on acidule, on redissout les chlorures, on sépare le résidu argileux par filtration, on lave, on sèche et on brûle le filtre. La dissolution filtrée est traitée par l'ammoniaque qui précipite l'alumine et le fer que l'acide chlorhydrique aurait dissous. On filtre, on lave, on sèche et on calcine le filtre. Le poids des produits provenant de ces deux calcinations donne celui de l'argile.

3° *Dosage des pyrites.* — Si l'on a reconnu que la portion insoluble dans l'acide chlorhydrique ne contenait que des pyrites de fer, comme certaines roches de Lobsanne, on traite dans une capsule par l'acide chlorhydrique environ 10 grammes de roche débarrassée du bitume, moins ou plus suivant l'abondance des pyrites. Quand toute effervescence a disparu, les pyrites, très pesantes, tombent au

fond de la capsule, on décante et on lave par décantation. On fait tomber le résidu dans une capsule en platine, on sèche à l'étuve à 100 degrés et on pèse. On a aussi le poids des pyrites de fer.

S'il a été reconnu que la roche contenait à la fois du sable, de l'argile et des pyrites, on prend une quantité suffisante de roche privée de bitume, on la traite par l'acide chlorhydrique qui dissout tout le calcaire avec un peu de fer et d'alumine. Quand il n'y a plus d'effervescence, on agite la liqueur, le sable et les pyrites tombent immédiatement au fond du vase et l'argile reste en suspension, on décante, on ajoute de l'eau distillée, on agite et on décante de nouveau. On répète l'opération jusqu'à ce que le sable et les pyrites s'étant précipités, le liquide reste limpide. On a donc, d'une part, l'argile, et d'une autre part le sable et les pyrites. L'argile est dosée comme nous l'avons indiqué précédemment.

La séparation du sable et des pyrites se fait ainsi :

On fait tomber dans une capsule de platine ce mélange de sable et de pyrites, on le sèche à l'étuve à 100 degrés et on le pèse. On le chauffe ensuite au rouge, de façon à brûler tout le soufre et à transformer les pyrites en oxyde de fer. Après refroidissement, la masse, qui a pris une couleur rouge sale, est traitée à chaud par l'acide chlorhydrique qui dissout peu à peu tout le fer et laisse le sable comme résidu. On filtre, on met à part le liquide filtré et après lavage et dessiccation du précipité, on brûle le filtre. On a ainsi le poids du sable qui, déduit du poids total du sable et des pyrites, donne le poids des pyrites. Comme vérification, on peut, dans le liquide filtré, doser le fer. Pour cela, on ajoute un peu d'acide azotique, on porte à l'ébullition pour peroxyder tout le fer, on précipite ensuite par l'ammoniaque, on filtre, on lave le précipité avec de l'eau distillée chaude, on sèche et on calcine. On pèse le produit de la calcination et du poids du peroxyde de fer Fe^2O^3, on déduit celui des pyrites $Fe\,S^2$ en multipliant par 1,50.

Essais des bitumes.

Les bitumes naturels sont plus ou moins mêlés d'argile.

Le dosage de l'argile se fait en calcinant dans une petite capsule de platine un demi-gramme de bitume, jusqu'à ce que tout le charbon soit brûlé. On doit éviter, au début de l'opération, l'inflammation de la matière, parce que cela pourrait occasionner des pertes. Il reste dans la capsule une argile rougeâtre ou brune, insoluble dans l'acide chlorhydrique; son poids, multiplié par deux, indique la proportion d'argile contenue dans le bitume.

Le bitume que l'on extrait des sables au moyen de l'eau bouillante n'est pas toujours bien sec et retient dans ce cas un peu d'eau. On s'en aperçoit au crépitement du bitume, quand on veut le calciner. L'eau est toujours évaporée pendant le traitement des bitumes soit pour leur épuration, soit pour la confection des mastics bitumineux, opérations dans lesquelles le bitume est maintenu pendant longtemps à une température supérieure à celles de la vaporisation de l'eau.

Le dosage de l'eau s'opère en laissant pendant 12 heures une petite quantité de bitume dans l'étuve à 100 degrés, on reconnaît que le bitume ne contient pas un excès d'huiles volatiles, si maintenu pendant 48 heures dans l'étuve à 100 degrés, il ne change pas sensiblement de poids. Dans les travaux de Paris on tolère une perte de 3 p. 100. Il est nécessaire d'indiquer le temps de séjour dans l'étuve, parce que, par une longue exposition, le bitume continuerait à diminuer de poids et deviendrait cassant.

Quelques bitumes contiennent du soufre, ce qui a pour inconvénient de répandre des odeurs qui incommodent les ouvriers et de détériorer les chaudières en tôle dans lesquelles ils sont fondus. On reconnaît la présence du soufre en fondant un peu de bitume avec du carbonate de soude. En délayant la masse avec de l'eau sur une lame d'argent, il se produit une tache noire qui révèle la présence du soufre.

Le dosage du soufre se fait en fondant un gramme de bitume avec 10 grammes de carbonate de soude desséché et 4 grammes d'azotate de potasse.

On broie, par petites portions, le bitume à essayer avec une partie du mélange de carbonate de soude et d'azotate de potasse; on réserve l'autre partie du mélange pour le nettoyage du pilon et du mortier. On mêle le tout avec une baguette de verre et on chauffe graduellement la masse dans une capsule de porcelaine ou de platine jusqu'à fusion et jusqu'à ce que le charbon soit complètement brûlé. La masse devient blanche après refroidissement; on la dissout dans l'eau chaude; on fait évaporer plusieurs fois avec de l'acide chlorhydrique pour chasser tout l'acide azotique.

On dissout tous les chlorures avec de l'eau acidulée avec de l'acide chlorhydrique; on filtre et dans la liqueur filtrée on précipite l'acide sulfurique avec du chlorure de baryum. Le sulfate de baryte est jeté dans un filtre; on le lave, on le sèche et on le calcine. Le poids du sulfate de baryte multiplié par 0,137 donne celui du soufre.

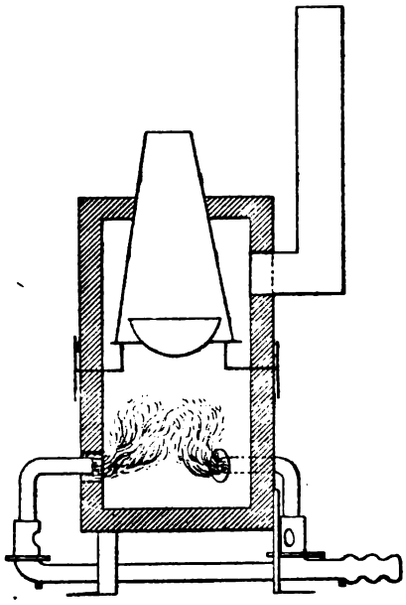
Le bitume était autrefois falsifié avec du brai de gaz. Aujourd'hui cette fraude tend à disparaître par suite d'une autre utilisation des brais du gaz. On peut reconnaître la falsification à la couleur que prend la dissolution dans la benzine ou dans le sulfure de carbone. Le bitume pur se dissout dans la benzine ou dans le sulfure de carbone en produisant une liqueur brune, d'autant plus foncée qu'elle

contient plus de bitume. Le brai de gaz se dissout dans les mêmes conditions en produisant, s'il est en petite quantité, une liqueur jaune par transparence avec reflet verdâtre. S'il est en grande quantité, la liqueur est rougeâtre par transparence et verdâtre à la surface. Nous ne connaissons pas de procédé pour déterminer la proportion dans laquelle entre le brai de gaz. Nous avons essayé de faire une échelle avec des mélanges de brai de gaz en différentes proportions; la teinte verte varie un peu d'intensité avec la proportion de brai, mais ce n'est qu'un procédé approximatif. L'échelle ne peut être conservée; elle doit être renouvelée chaque fois que l'on veut faire un dosage.

Parmi les divers bitumes, il y en a qui sont secs, comme celui de la Trinitad; d'autres sont plus ou moins visqueux. Ces derniers sont en général plus purs, mais ils rendent quelquefois les enduits bitumineux trop mous.

Nous avons cherché à nous rendre compte du plus ou moins de viscosité en chauffant les bitumes à une température déterminée et en notant la perte qu'ils éprouvent par le départ des huiles volatiles ou décomposables à cette température. Le poids du résidu fixe qui résiste à cette température est variable suivant les divers bitumes. Nos essais ne sont pas encore bien nombreux et la température que nous avons provisoirement adoptée et qui nous est le plus facile à reconnaître est le rouge sombre.

L'appareil dont nous nous servons est un fourneau cylindrique. Le gaz arrive dans la partie inférieure au moyen de 3 trous latéraux. Il chauffe une capsule en platine qui est engagée dans un disque



de tôle, la capsule est recouverte par un tuyau conique qui préserve l'intérieur de la capsule du contact de la flamme. Les produits de la combustion circulent autour de la capsule et du cône et sortent du fourneau par un tuyau de cheminée.

On peut régler l'arrivée du gaz de façon que la capsule soit chauffée à peine au rouge sombre, ce que l'on reconnaît en regardant par la partie supérieure du tuyau conique.

La flamme du gaz étant ainsi réglée, on retire la capsule quand elle est froide; on la tare, on y place un demi-gramme du bitume à essayer et on la remet dans le fourneau. Le bitume fond, des fumées sortent du tuyau conique, et lorsque les fumées cessent, on retire la capsule du fourneau; on la pèse après refroidissement. On a ainsi le poids du résidu sec et, par suite le poids des huiles qui sont parties en fumée. Il est important d'arrêter l'opération aussitôt que le dégagement des vapeurs et des fumées a cessé, parce qu'alors le résidu sec, qui est composé surtout de charbon n'est pas suffisamment à l'abri de l'air et brûlerait à son tour. Le résidu sec est du charbon, mêlé à de l'argile; il est insoluble dans le sulfure de carbone et si on le chauffe au rouge le charbon brûle complètement. Le poids du résidu fixe doit être diminué de celui de l'argile qui est contenu dans le bitume. Nous espérons que ce procédé nous amènera à reconnaître s'il y a identité entre les bitumes qui imprègnent les différentes roches asphaltiques.

Paris, le 19 avril 1893.

SALLE,

Ingénieur de la 5e Section des Travaux de Paris,

MÉTHODES D'ESSAI

ET

CONDITIONS DE RECETTE DES BOIS.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. E. BÈS DE BERC.

I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

La valeur des bois employés dans les constructions dépend de qualités très diverses, changeant non seulement avec les espèces et leurs variétés, et même avec chaque arbre, mais encore pour un arbre déterminé, avec les différentes couches annuelles et les différentes parties du végétal, suivant les circonstances qui en ont accompagné le développement.

Après l'abatage, ces qualités sont plus ou moins profondément modifiées par le traitement qu'on a fait subir aux pièces et suivant les soins qu'on a apportés à leur conservation.

La valeur d'une pièce de bois peut d'ailleurs être diminuée ou détruite par des tares accidentelles auxquelles sont exposés les bois des meilleures essences arrivés à leur complet développement.

L'appréciation de cette valeur découle donc de la connaissance exacte de tous ces éléments, et les méthodes d'essai et de recette doivent comporter d'une façon générale :

1° Des indications aussi précises que possible sur la provenance des bois, leur âge, la nature du sol qui les a nourris, et comme complément à ces indications, un examen microscopique des copeaux et des couches de croissance annuelle, servant à définir les propriétés organoleptiques et les caractères physiologiques de l'échantillon à étudier;

2° La recherche de tous les vices et tares qui peuvent déprécier chacune des pièces soumises à l'essai ;

3° L'examen des procédés employés pour la conservation des bois depuis leur abatage;

4° Enfin, toutes les fois que cela sera possible, des essais physiques et des essais mécaniques destinés à fournir des indications sur la résistance à la tension ou à la flexion, à la compression ou à l'écrasement, au cisaillement, etc.

Ces méthodes sont susceptibles de modes d'application différents, suivant la nature des travaux auxquels les bois sont destinés, chacun de ces emplois ayant ses exigences particulières. Après les avoir étudiées rapidement dans leur généralité, nous en indiquerons l'application aux principaux bois de construction, savoir :

Bois de marine;

Bois de charpente;

Traverses de chemin de fer;

Étais et boisages des mines;

Poteaux télégraphiques.

II. — PROVENANCE. — NATURE DU SOL. — ÂGE. — EXAMEN DES COUCHES DE CROISSANCE ANNUELLE. — BOIS GRAS ET BOIS MAIGRES. — CARACTÈRES PHYSIOLOGIQUES ET ESSAIS ORGANOLEPTIQUES.

La provenance des bois, la nature du sol qui les a nourris, le climat, ont, pour une même essence, une influence capitale sur la qualité.

Un sol très humide, même fertile, donne une sève diluée et pauvre, incapable de produire beaucoup de matières ligneuses; chaque couche de croissance est mince et contient plus de vaisseaux que de fibres : le bois est « gras ».

Un sol fertile modérément humide donne, surtout sous un climat chaud, une végétation active, une couche annuelle épaisse et fibreuse : le bois est nerveux, « maigre » ou « rouvre ».

Un sol fertile trop sec donne une sève concentrée et riche en matières nutritives, mais peu abondante, une couche annuelle fibreuse, peu épaisse, et une qualité de bois intermédiaire entre le bois gras et le bois maigre: si ce sol sec est en même temps pauvre, le bois produit est un bois gras.

Les bois gras ont le grain gros, manquent de résistance, sont légers et perméables à l'eau. Leurs copeaux sont courts et friables, leur cassure est nette et sans esquilles. Ils résistent bien à la fente et au retrait.

Les bois maigres ou rouvres ont au contraire le grain fin et serré, de la résistance, de la lourdeur et sont peu perméables à l'eau. Ils donnent au rabot des copeaux longs et résistants; leur cassure produit de longues esquilles. Ils sont sujets au retrait et enclins à la fente.

Les bois maigres d'une essence ont une durée toujours beaucoup plus grande que les bois gras de la même essence, à porosité et densité égales.

L'examen des pièces, leur couleur, la résistance et l'étude microscopique de leurs copeaux, la dimension des mailles, la nature des nœuds, l'aspect du grain et des fibres, tant sur les sections que sur les faces, peuvent suppléer dans la plus large mesure à l'absence d'indications précises préalables.

L'essence et la provenance, ainsi que les qualités, résultent souvent d'une façon nette de cet examen fait par un observateur exercé.

L'examen des couches de croissance annuelle, en particulier, est d'un secours précieux. Il doit être fait avec tout le soin possible. Il montrera si le bois est maigre et si les fibres ont acquis leur maximum de résistance et de durée, s'il est gras et possède, à défaut des qualités précédentes, la résistance au retrait et aux fentes, ou, ce qui arrive le plus souvent, s'il est intermédiaire entre ces deux états extrêmes, et dans quelle proportion il participe aux qualités et aux défauts de l'une et de l'autre.

Par les caractères physiologiques et les propriétés organoleptiques qu'elle révèle, nombre, grosseur, groupement et degré d'obstruction des vaisseaux, coloration et odeur des bois, nature

de la matière incrustante, finesse ou grosseur du grain, l'inspection minutieuse au microscope des couches annuelles suffit le plus souvent à elle seule à définir les diverses essences et leurs variétés. Cette inspection doit être faite sur des copeaux ou des tranches extrêmement minces, découpées au microtome, après immersion de quelques heures dans l'eau chaude, si la chose est nécessaire.

Le nombre des couches, compté à la base d'une tige quelconque, donne exactement son âge. Très nettement dessinées par le groupement des vaisseaux sur leur bord intérieur, dans les bois durs tels que le chêne, elles le sont un peu moins, mais encore très apparentes, sur les bois blancs, où les vaisseaux sont presque uniformément répartis sur toute l'épaisseur de la couche annuelle, et sur les bois résineux où les vaisseaux n'existent pas. Elles peuvent donc, sauf de rares exceptions, être exactement comptées pour tous les bois de construction. On devra en mesurer l'épaisseur moyenne, la disposition concentrique ou excentrée, ainsi que l'épaisseur de l'aubier.

III. — VICES ET TARES.

Les vices des bois abattus préexistent généralement dans les arbres d'où ils viennent, ou y ont leurs germes, mais un certain nombre, et non des moins graves, peuvent prendre naissance après l'abatage, par suite du défaut de soins apportés à la conservation des pièces.

Le vice le plus commun est la pourriture sous forme humide ou sous forme sèche.

La pourriture humide se produit sous la seule action des agents atmosphériques, principalement quand l'eau pénètre dans l'intérieur de l'arbre par suite de causes diverses. Elle transforme le bois en humus.

La pourriture sèche se développe sous l'influence d'expositions alternatives des bois à la sécheresse et à l'humidité, et avec le concours de végétations cryptogamiques qui apparaissent sous la forme de petits filaments blanchâtres envahissant peu à peu tous les vaisseaux et tous les pores du bois. Elle transforme le bois en une poudre sèche et friable.

Dans les deux cas, le bois prend une couleur et une odeur particulières qui permettent, suivant leur nature, de déterminer avec assez d'exactitude le degré de gravité du mal.

La pourriture au pied de l'arbre est déterminée par la mort accidentelle d'une ou plusieurs racines, ou plus fréquemment par une souche pourrie sous le rejet, laquelle a communiqué le mal aux parties saines. Cette pourriture est toujours grave sur les bois blancs et les bois gras, qu'elle envahit avec rapidité; sur les bois maigres elle peut être localisée et sa propagation dans l'intérieur du tronc est beaucoup plus lente.

Pour le chêne en particulier, l'étendue en est rarement grande quand la couleur de la pourriture est noire ou blanche; elle est plus à craindre si la couleur est jaune; elle est presque toujours une cause absolue de rebut pour l'arbre si elle est rouge, car l'invasion est alors complète.

La « grisette » est un des genres de pourriture les plus graves. Elle commence en général à la tête des pièces, par suite des égouts ou des gouttières que le bris des branches occasionne, et se propage progressivement dans le tronc où elle affecte la forme de la pourriture sèche, elle est accompagnée de petits champignons blanchâtres ou brunâtres et est une cause absolue d'exclusion de la pièce pour tous les travaux de construction.

Elle est dite à « chair de poule » quand elle est parsemée de points blancs; à « flamme » quand elle présente une propagation irrégulière rappelant la forme d'une flamme. Les « flammes » jaunes sont les plus dangereuses, les « flammes » blanches ou brunes révèlent en général un mal moins étendu que les jaunes.

Les nœuds situés sur les faces des pièces sont souvent des points d'origine pour la pourriture sèche, et il est nécessaire de les examiner avec la plus grande attention. Quelques-uns, sains en apparence, ne sont cependant pas adhérents, et ils ont laissé passer, dans le vide qui les entoure, de l'eau qui engendre la grisette sous le nœud même. Au sondage ou au marteau, le nœud se détache et rend apparente la cavité où le mal a pris naissance.

Si le nœud est lui-même gâté, sa couleur indique la gravité du mal. Les nœuds noirs sont peu dangereux et se purgent en général facilement; les nœuds jaunes, de couleur tabac d'Espagne, témoignent d'une grisette grave. L'œil de perdrix est un point de couleur foncée qui se trouve

au centre des nœuds, même très petits, et qui est, la plupart du temps, l'indice d'une cavité plus ou moins grande dite « huppe » remplie de bois pourri de couleur blanchâtre. Ce vice est localisé et peut souvent se purger.

Indépendamment de ces divers genres de pourriture, qui tous sont en germe ou en développement sur l'arbre même, les bois abattus, même sains, qu'on a laissés exposés aux fentes par l'action du soleil ou du vent, se pourrissent sur chantier par l'action de la pluie. Ce genre de pourriture attaque spécialement le cœur de la pièce et ne se révèle au dehors que par l'examen de ce cœur lui-même.

Les « cadranures » sont des fentes au cœur, de forme rayonnante, larges à leur centre et s'amincissant en allant vers la circonférence; elles sont dues, soit à la vétusté des arbres, soit à la dessiccation des pièces.

Quand elles ne se produisent qu'au pied elles ne sont pas graves et un éboutement de la pièce peut en avoir raison: mais si elles paraissent à la fois à la tête et au pied, elles excluent, surtout pour les pièces grasses, tout emploi de la pièce comme bois de charpente, le cœur ne présentant plus de résistance, et en entraînent le débit en bois de sciage ou de fente.

La « roulure » est la séparation de deux couches annuelles consécutives qui ne sont plus adhérentes. Elle constitue un vice de gravité variable, d'autant plus grande que le manque de continuité existe sur un arc plus grand, et se prolonge sur une longueur plus grande de la pièce. Les roulures sont une cause de rebut pour les pièces destinées au sciage, et aussi, quand elles occupent toute la longueur de la pièce, pour les pièces de charpente.

Les « gélivures » sont des fentes longitudinales, à faces lisses et noires, et se dirigeant vers le centre qu'elles n'atteignent pas toujours. Elles sont le plus souvent dues à la congélation de la sève pendant les grands froids.

Les « frottures » sont des parties spongieuses restées dans l'intérieur des pièces à la suite de la mort d'une portion d'aubier pendant la croissance de l'arbre, mort occasionnée par des chocs ou contusions locales ayant atrophié cette partie d'aubier et arrêté son développement normal. Ces parties atrophiées, recouvertes par des couches nouvelles, restent enclavées dans l'arbre, et il est indispensable, quand elles sont saines, de les purger au plus vite, car elles sont sujettes à pourriture rapide; quand elles présentent un commencement de décomposition, elles peuvent produire la grisette et motiver le rebut de la pièce.

Le vice connu sous le nom de « lunure », « double aubier » ou « gelure », résulte de couches de croissance annuelles spongieuses et de couleur claire comme l'aubier, interposées entre les couches normales. Ces couches constituent une maladie d'autant plus grave que le tissu en est plus spongieux et diffère davantage des couches dures qui les enveloppent. Elles sont exposées à une décomposition aussi rapide que celle de l'aubier. Elles ont le plus souvent pour cause un défaut de nutrition de l'arbre à un moment donné de sa croissance. Elles s'aperçoivent très facilement à l'inspection de la section de la pièce, et doivent en faire proscrire l'emploi à tous les travaux de construction pour lesquels la durée et la résistance sont indispensables.

Ce vice est appelé « lunure » quand il occupe le centre de la pièce, « double aubier » ou « gelure » quand il forme une circonférence complète autour du cœur.

L'écorce enfermée dans le bois ou « entr'écorce » est un défaut sans gravité qu'on rencontre surtout au pied des arbres, à l'insertion des racines. Il n'offre aucun danger de décomposition et il est inutile de le purger.

Les fibres torses, c'est-à-dire affectant une forme héliçoïdale, dues à l'action du vent, sont un vice rédhibitoire pour les pièces destinées aux travaux de sciage. On peut passer outre quand la pièce doit être employée à certains travaux de charpente.

L'excentricité du cœur, causée par l'inégalité d'épaisseur des couches annuelles sur un même diamètre, et due à la végétation de l'arbre sur des pentes rapides, est un vice nuisible à beaucoup d'emplois. Il est dangereux si le côté où les couches annuelles sont les plus minces présente des fibres spongieuses.

Les bois abattus présentent fréquemment des fentes et des gerçures dues à une dessiccation trop rapide et au retrait qui en est la conséquence. Les fentes, parallèles aux fibres, se rencontrent surtout sur les bois maigres, comme il a été dit plus haut. Elles ne nuisent pas à l'emploi quand l'étanchéité n'est pas une condition nécessaire pour les pièces, comme cela a lieu pour les bordés de carène des navires.

Mais les gerçures perpendiculaires aux fibres, et qui sont l'indice de leur faible résistance, sont une cause de rebut pour peu qu'elles atteignent une certaine profondeur.

Certaines pièces ont, au pied, des défauts, fentes ou trous, résultant d'un abatage défectueux et ayant entraîné des éclats. Ces défauts peuvent tout au plus obliger à ébouter la pièce, mais ils n'en altèrent pas la qualité.

Un dernier vice des bois abattus, et souvent un des plus graves, résulte des piqûres de vers et insectes qui attaquent les pièces pour lesquelles on n'a pas pris de précautions suffisantes, notamment celle d'enlever l'écorce à temps.

C'est en effet par l'écorce, riche en matière azotée, que commencent souvent les ravages des insectes; l'aubier est attaqué à son tour et devient rapidement vermoulu. Il doit dans les bois de charpente être enlevé avec soin et ne faire l'objet que de tolérances très étroites.

Les « trous de cerfs-volants » peuvent atteindre jusqu'à 2 cm. de diamètre et même pénétrer jusqu'au cœur de pièces dures, comme des pièces de chêne âgé, sans entraîner la décomposition du bois.

La vrillette, qui est un petit ver de 7 mm. de longueur, d'un brun sombre taché de jaune, attaque les bois tendres et l'aubier des bois durs ainsi que les vieilles boiseries.

Le lymexylon est des plus dangereux. Il fait des petits trous perpendiculaires aux fibres, en apparence inoffensifs, mais se propage avec rapidité dans toute la piéce, la mine et y laisse des germes de pourriture, avec une odeur nauséabonde particulière.

Un approvisionnement envahi par le lymexylon est perdu si on ne prend le parti d'immerger pendant plusieurs mois les bois qui le composent, au moment de l'éclosion des larves.

Les pièces de bois qui présentent des trous de lymexylon doivent être rigoureusement exclues des approvisionnements.

Un autre insecte, le termite, espèce de fourmi ailée apportée d'outre-mer dans un de nos ports, est également des plus redoutables pour les approvisionnements de bois; il dévore complètement l'intérieur des pièces. Il est heureusement peu répandu en dehors de la région de Rochefort-sur-Mer, où il a exercé pendant longtemps ses ravages et où il persiste encore.

Le taret est un ver marin qui n'attaque que les bois plongés dans l'eau de mer propre, mais qui les met rapidement hors de service. Il les perfore en tous sens, surtout dans le sens des fibres. L'eau douce le tue en quelques jours; l'eau saumâtre en un temps plus long, mais sûrement; les bois plongés dans la vase ou dans de l'eau de mer viciée par des matières organiques en sont préservés. La protection la plus efficace contre ses attaques consiste à recouvrir le bois d'un revêtement métallique.

IV. — CONSERVATION DES BOIS APRÈS LEUR ABATAGE.

ÉPOQUE DE L'ABATAGE.

L'examen des précautions prises et des procédés suivis dans le traitement des bois depuis leur abatage jusqu'à leur mise en œuvre est un des éléments importants d'appréciation de leur valeur, tant au point de vue de leur résistance qu'à celui de leur durée probable.

Les bois abattus doivent avoir été placés dans les conditions les plus propres à éviter la pourriture et les attaques des insectes.

L'élément le plus exposé à l'une comme à l'autre cause de destruction étant la sève, on doit rechercher les moyens, soit de la chasser, soit tout au moins d'en diminuer la proportion restante après l'abatage.

La première mesure à prendre est d'abattre les arbres en hiver, c'est-à-dire hors sève.

L'aubier des arbres abattus au printemps, après la montée de la sève, ou de juillet à octobre, en pleine végétation, contient en abondance des matières azotées prêtes à la décomposition sous l'action de l'eau, de l'air, de la chaleur et des insectes.

Le même danger n'existe pas, ou il existe à un degré beaucoup moindre pour l'aubier des arbres abattus en plein hiver. La différence est surtout sensible pour les bois non résineux. L'abatage hors sève est en général une garantie de durée dont on devra tenir compte.

Après l'abatage, on doit chercher à se débarrasser le plus possible de la sève, soit par une dessiccation régulière et bien conduite, soit par une immersion prolongée dans l'eau qui dissout une grande partie des principes fermentescibles, mais qui a l'inconvénient de rendre les bois poreux et d'en affaiblir la résistance.

L'immersion, soit dans l'eau douce, soit dans l'eau de mer, soit dans l'eau saumâtre, ne doit guère être recherchée que pour les approvisionnements considérables et de très longue durée, comme ceux qu'entretenait la marine militaire à une époque encore peu éloignée, et auxquels l'immersion peut assurer une conservation presque indéfinie.

Dans les autres cas et pour des bois destinés à être rapidement mis en œuvre, on peut recourir à l'immersion temporaire pour préserver les bois des fentes ou des piqûres d'insectes, tels que le lymexylon, mais non comme procédé de conservation normale.

La dessiccation naturelle ou artificielle doit être pratiquée dans tous les cas, soit que les bois viennent directement de la coupe, soit qu'ils aient été soumis à une immersion préalable.

La dessiccation naturelle, dont on peut se contenter pour la plupart des travaux, au moins à titre de préservation préliminaire, doit se faire en empilant les pièces de façon à les isoler du sol et les unes des autres, par des appuis suffisamment épais pour que l'air se renouvelle sans cesse autour de chaque pièce, et en recouvrant les piles d'une toiture fixe ou mobile pouvant les préserver du soleil et de la pluie.

Quand l'approvisionnement est considérable et que la dessiccation peut se prolonger pendant plusieurs années, — ce qui est le cas des bois de marine, — les piles sont installées sous des hangars, de construction appropriée au climat, et aménagés de façon à ce que les pièces participent dans une mesure convenable et sans transitions brusques aux variations atmosphériques, à ce que la température ne puisse s'y élever d'une manière continue et y devenir anormale.

Dans un petit nombre de cas, quand les nécessités de l'emploi ne permettent pas d'attendre une préservation satisfaisante d'une dessiccation naturelle suffisamment prolongée, on a recours à la dessiccation artificielle. Les pièces sont chauffées en étuve dans un courant d'air dont la température peut être élevée graduellement jusque vers 90 ou 100 degrés.

Mais quelles que soient les précautions prises pour purger les bois de leur sève, ce résultat n'est jamais complètement atteint, et les garanties de durée que comporte l'affectation à certains travaux ne peuvent être obtenues qu'en apportant directement à la fermentation des éléments putrescibles de la sève restante des obstacles appropriés, par conséquent en isolant cette sève du contact de l'air et de l'humidité, ou en stérilisant les ferments par des matilres antiseptiques.

La protection contre l'air et l'humidité peut être obtenue par des enduits, peintures à l'huile ou au coaltar; ces enduits donnent, surtout le second, une préservation convenable, pour les bois enfoncés dans la terre, contre la pourriture humide venant du sol, ou pour les faces de contact de bois d'essences différentes dans les assemblages de charpente, mais ne suffisent pas à empêcher la pourriture sèche à l'intérieur des pièces ayant encore de l'aubier net imparfaitement desséchées au préalable.

La carbonisation des surfaces est plus efficace; elle consume une partie de l'aubier, détruit les germes organisés qui peuvent s'être déposés dans la couche superficielle des pièces en même temps qu'elle resserre et durcit cette couche, et elle imprègne le bois de produits empyreumatiques favorables à sa conservation. Elle donne de bons résultats pour les pièces enfoncées dans le sol, et a été étendue, il y a de longues années, par M. de Lapparent à la membrure des navires et aux faces d'application du bordé sur ces membrures. Mais, de même que les enduits, elle ne constitue qu'un remède superficiel, laissant se développer souvent au centre même des pièces ainsi traitées la pourriture sèche, et si on continue à l'employer encore pour quelques pièces enfoncées dans le sol, on y a renoncé pour la charpente des navires, où elle présentait, à côté de son inefficacité relative, des dangers d'incendie.

La stérilisation des germes de pourriture, jusqu'au cœur même des pièces, par injection dans leurs vaisseaux de substances antiseptiques, reste le seul élément sérieux de santé et de durée pour les bois, et c'est à ce remède qu'on doit principalement s'attacher, quand son application en est possible.

Les antiseptiques employés avec succès sont aujourd'hui :

Le chlorure de zinc (procédé Burnett), en usage en Angleterre, en Hollande, en Danemark, en Russie, en Allemagne et quelquefois en France, qui est peu coûteux et forme avec les matières albuminoïdes de la sève une combinaison insoluble dans l'eau;

La créosote impure ou huile lourde de houille contenant de 20 à 30 p. 100 de naphtaline et de 5 à 6 p. 100 d'acide phénique, en usage en Angleterre, en Belgique et en France (procédés Bethell et Blythe et procédé Forestier), et qui a l'avantage précieux, outre ses propriétés antiseptiques énergiques, d'être hydrofuge et de préserver parfaitement les bois de l'humidité et par suite des variations de volume qui déterminent l'apparition des fentes;

Le sulfate de cuivre, employé pour l'injection des poteaux télégraphiques et qui l'est aussi, mais de plus en plus rarement, pour les traverses de chemin de fer; son emploi pour ces derniers bois donne lieu souvent à une action galvanique destructrice du bois au contact des chevillettes, crampons, tire-fonds ou coussinets de fer;

Le bichlorure de mercure, expérimenté en Angleterre par M. Kyan en 1832, est aujourd'hui abandonné; il coûte cher, est d'un emploi dangereux, et d'une solubilité dans l'eau qui ne permet pas aux bois injectés avec cette substance de se conserver dans l'humidité.

Ces matières préservatrices sont injectées aujourd'hui, à peu près universellement, en vase clos, sous une pression énergique après un vide d'une certaine durée.

L'injection par utilisation de la sève ascendante sur des arbres récemment abattus (ancien procédé Boucherie), ou par simple immersion des pièces dans le bain antiseptique, est généralement abandonnée [1].

Les bois, préalablement bien séchés sur chantier, ou soumis en vase clos à l'action de la vapeur à 3 ou 4 atmosphères pour en chasser la sève, sont ensuite laissés dans le vide, qu'on fait avec des pompes pour enlever les gaz et l'air contenus dans leurs pores, puis on introduit soit la dissolution de sel métallique, soit la créosote chauffée à la température de 50 à 100 degrés, sous une pression de 8 à 12 atmosphères. Après imbibition, on retire les pièces et on les sèche à l'air libre.

La pénétration des liquides antiseptiques est extrêmement variable avec l'âge et l'essence des bois; le hêtre, le peuplier s'injectent parfaitement, les résineux beaucoup moins facilement; le chêne est complètement rebelle, l'aubier seul s'injecte; l'orme s'imprègne mieux que le chêne, mais d'une façon très irrégulière. En général les bois jeunes absorbent facilement les liquides antiseptiques. Les bois parfaits sont résistants à la pénétration, mais ils le sont aussi à la décomposition, et leur durée n'en est pas souvent sensiblement amoindrie.

Les bois abattus en sève prennent également peu le liquide antiseptique et c'est une raison de plus proscrire cette époque d'abatage.

V. — ESSAIS PHYSIQUES. — MESURE DE LA DENSITE ET DE L'IMBIBITION. ESSAIS MÉCANIQUES.

La résistance des bois aux divers efforts extérieurs, tension, flexion, compression, cisaillement, ainsi que leur élasticité, varie avec la quantité de liquides que les bois contiennent, par conséquent avec leur densité qui, pour une même essence, est intimement liée à leur état de dessiccation.

Il est donc à recommander que toutes les épreuves mécaniques soient faites sur des éprouvettes en nombre assez grand pour que l'essai, exécuté sur quelques-unes, ayant perdu toute l'humidité qu'elles peuvent perdre par dessiccation, soit repris sur d'autres, desséchées comme les précédentes, mais ayant absorbé ensuite par imbibition toute l'eau qu'elles peuvent prendre.

Les premières sont séchées à l'étuve jusqu'à ce que leur poids demeure invariable, les secondes sont imbibées jusqu'à ce que leur poids n'augmente plus.

Des pesées exactes faites à l'état sec et à l'état d'imbibition indiqueront la proportion d'eau absorbée et son rapport, soit en poids, soit en volume, au poids ou au volume primitif de l'éprouvette à l'état sec, rapport qui varie bien entendu suivant la porosité et la dureté des essences.

Ces mêmes pesées, rapprochées des volumes correspondants, donneront la densité afférente à chacun des deux états sec et humide.

Les résultats d'essais, fournis par chacune des deux épreuves, marqueront les limites entre lesquelles ils peuvent varier, pour des états d'humidité intermédiaires, caractérisés par une densité intermédiaire entre la densité mesurée sur les éprouvettes sèches et celle mesurée sur les éprouvettes imbibées.

La dessiccation des éprouvettes peut être pratiquement faite à l'étuve à une température variant entre 30 et 40°, avec les précautions nécessaires pour éviter qu'elles ne se voilent ou se déjettent, ce qui exige un chauffage bien uniforme.

---

[1] L'Administration des Postes et Télégraphes seule continue à injecter ses poteaux télégraphiques par le procédé Boucherie modifié, c'est-à dire appliqué avec une pression produite par une colonne de liquide d'une certaine hauteur.

L'imbibition est faite par immersion dans l'eau à 30 ou 40° pendant un temps plus ou moins prolongé.

Les essais mécaniques consistent, en général, en :

Essais de flexion poussés jusqu'à rupture;

Essais de compression ou d'écrasement, parallèlement et perpendiculairement aux fibres;

Essais de traction ou d'arrachement par traction;

Essais de cisaillement,

auxquels on ajoute quelquefois des essais au choc, ou autres essais spéciaux que peut comporter l'emploi des matières à étudier.

A. — Essais de flexion.

Les éprouvettes, placées sur deux appuis et supportant la charge d'épreuve en leur milieu, sont des prismes à base carrée ou rectangulaire, de dimensions variables suivant la puissance de la machine dont on dispose pour les essais, et suivant les installations des divers laboratoires où ces essais sont exécutés.

Chaque éprouvette ne peut guère à elle seule être considérée comme un témoin fidèle de la qualité de la pièce entière dont elle provient, tant à cause de la réduction de ses dimensions qui localise pour ainsi dire l'épreuve en un point déterminé, qu'en raison de la difficulté qu'on a le plus souvent à la débiter sans que quelques fibres en soient coupées, sans fentes, sans nœuds ou autres défauts de nature à constituer une cause initiale d'affaiblissement; on doit en prélever plusieurs, réparties dans les divers points de la section transversale de la pièce et repérées des façon à indiquer exactement la région où elles ont été prises.

Elles doivent être débitées à la scie, à vives arêtes, et suivant des faces rigoureusement serpendiculaires deux à deux.

L'orientation des couches annuelles par rapport à la direction de l'effort de flexion, devra être soigneusement notée, cette orientation étant de nature à modifier les résultats de l'épreuve.

En outre, on devra préserver les fibres de l'éprouvette de toute morsure des couteaux ou pivots qui servent de point d'appui et de pression, en interposant entre elles et les couteaux ou pivots, des cales en bois suffisamment épaisses ou même des cales métalliques.

Au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, M. l'inspecteur général Durand-Claye et M. l'ingénieur en chef Debray se servent avec succès de l'appareil décrit dans les Annales des Ponts et Chaussées (août 1888), où la charge est obtenue par un écoulement uniforme d'eau dans un seau, et où les flèches correspondant à chaque charge sont mesurées par un appareil enregistreur dû à M. Klein, à raison de cinquante fois leur valeur.

La section des éprouvettes est de 0 m. 03 sur 0 m. 03 et leur longueur de 1 m. 04 environ.

Elles sont placées sur deux appuis distants de 1 mètre.

Au laboratoire mécanique de Saint-Pétersbourg, annexé à l'Institut des ingénieurs des voies de communication russes, M. l'ingénieur de Bélélubsky emploie des éprouvettes rectangulaires de 0 m. 015 sur 0 m. 040 et de 2 m. 30 de long.

Au laboratoire de l'École polytechnique de Munich, M. le professeur Bauschinger recommande des éprouvettes carrées de 0 m. 10 de côté et de 1 m. 60 de longueur, reposant sur des appuis distants de 1 m. 50.

En Amérique, M. le professeur Johnson, au laboratoire de Saint-Louis, emploie deux dimensions d'éprouvettes : les grandes sont de véritables poutres; elles sont rectangulaires, de 6 à 12 pouces d'épaisseur sur 8 à 16 pouces de large (0 m. 15 à 0 m. 30 sur 0 m. 20 à 0 m. 40) et de 12 à 18 pieds de long (3 m. 60 à 5 m. 40); les petites sont carrées, de 4 pouces de côté, et de 5 pieds de long (0 m. 10 × 0 m. 10 × 1 m. 50). Ces dernières sont de mêmes dimensions que celles de M. Bauschinger.

Toutes les fois que la chose sera possible, soit par suite des dimensions de la section transversale de la pièce à éprouver, soit par suite des moyens mécaniques dont on dispose, ces dernières dimensions sont à recommander.

L'épreuve est faite par des charges graduelles augmentant la flexion, proportionnellement à la charge dans une première période correspondant à la limite d'élasticité, puis, dans une seconde période, très rapidement jusqu'à la rupture.

L'intensité de ces charges doit être calculée, quelles que soient les dimensions de l'éprouvette

de telle sorte que le temps total de l'épreuve, qui a une grande importance dans les épreuves de bois, ne dépasse guère 10 à 15 minutes au maximum.

En même temps que les charges sont relevées à des valeurs successives correspondant à des accroissements égaux, les flèches sont enregistrées par des appareils spéciaux pouvant, à l'aide de micromètres ou verniers convenablement disposés, donner le dixième de millimètre.

Le tableau de ces charges et des flèches correspondantes, dans la période où la proportionnalité persiste, permettra de calculer le module d'élasticité E par la formule usuelle.

$$E = \frac{L^3}{4\,bh^3}\,\frac{P}{f}$$

où

L est la distance entre les points d'appui;
P la charge au milieu;
f la flèche;
b la largeur et h la hauteur de l'éprouvette.

Ce module d'élasticité étant pour une charge donnée, inversement proportionnel à la flèche prise par l'éprouvette, est la mesure de la *raideur de la pièce*.

Quand on pousse les charges jusqu'à la rupture, les flèches augmentent rapidement, et la courbe tracée en les prenant pour ordonnées, les charges correspondantes étant prises pour abscisses, courbe qui dans la première période se confondait sensiblement avec une ligne droite, s'infléchit très vite, sa tangente se rapprochant de plus en plus de la verticale.

Le point où se produit la rupture étant noté, on en déduit la tension de rupture R de la fibre extrême, par la formule

$$R = \frac{3PL}{2\,bh^2}$$

les lettres ayant la même signification que précédemment et P étant la charge qui a produit la rupture complète des fibres les plus allongées.

L'aire du diagramme de flexion, depuis le commencement de la charge jusqu'à la charge de rupture, donne le travail total supporté par l'éprouvette pendant la flexion.

Ce travail est considéré par M. Bauschinger comme une mesure fidèle de la qualité du bois éprouvé. Il donne, en fait, la mesure de la force vive que peut absorber la pièce jusqu'à sa rupture.

Mais il paraît plus rationnel, pour apprécier la qualité et le travail de résistance que peut effectivement supporter avec sécurité la pièce, dans les conditions où elle se trouvera en service, de limiter la mesure du diagramme de flexion à l'ordonnée correspondant au point où la courbe, abandonnant la ligne droite, commence à s'infléchir brusquement, c'est-à-dire au point où cesse la proportionnalité entre les charges et les flèches. C'est la pratique suivie au laboratoire de Saint-Louis et préconisée par M. le professeur Johnson, et il y aurait avantage à la généraliser.

La résistance à la rupture par flexion et le module d'élasticité diminuent sensiblement, pour une essence de bois déterminée, quand la proportion d'humidité contenue dans la pièce augmente. La diminution, très rapide d'abord, se produit ensuite plus lentement et à peu près proportionnellement à la quantité d'eau d'imbibition.

M. Bauschinger en traçant des courbes ayant ces divers éléments pour abscisses et pour ordonnées, a constaté la loi de ces variations. Il a trouvé en particulier que pour un certain nombre de bois résineux, pin, mélèze, bois de Suède, sapin, la résistance à la rupture par flexion est proportionnelle au module d'élasticité, les constantes ayant une valeur différente pour chaque essence.

B. — Essais de compression ou d'écrasement parallèlement aux fibres.

Ces essais se font en comprimant des prismes courts à base carrée, placés debout, entre les deux plateaux d'une presse hydraulique.

Les prismes doivent être préparés de façon à ce que leurs fibres soient bien parallèles aux grandes faces, et rigoureusement perpendiculaires aux deux faces de pression.

On leur donne généralement 0 m. 10 de côté à la base, et de 0 m. 10 à 0 m. 15 de hauteur.

On charge jusqu'à écrasement, c'est-à-dire jusqu'à ce que les fibres se séparent ou fléchissent suivant une section plane oblique.

La continuation de la charge à partir de ce point n'aurait pour effet que de faire glisser l'une sur l'autre la partie supérieure et la partie inférieure du prisme.

On note cette charge d'écrasement et on la rapporte à la section, exprimée en centimètres carrés, de la face portante. Le rapport peut être pris pour coefficient de résistance à l'écrasement du bois considéré.

Il est beaucoup plus élevé à l'état sec qu'à l'état d'imbibition. Là encore, l'humidité absorbée par le bois diminue considérablement sa résistance à l'écrasement.

La mesure des affaissements des éprouvettes sous les charges successives, depuis la mise en pression, jusqu'au moment de l'écrasement, peut être facilement faite par la lecture, au moyen d'un système convenable de règles et de verniers, du rapprochement des plateaux de la presse.

L'aire du diagramme de la courbe de ces affaissements, construite en prenant les charges pour abscisses, donnera, entre l'origine et le point où l'écrasement commence à se manifester, la mesure du travail de compression que peut supporter, sans rompre, le bois debout, en pièces courtes.

C. — Essais de compression ou d'écrasement perpendiculairement aux fibres.

Des éprouvettes de mêmes dimensions que précédemment sont pressées à plat entre les deux plateaux de la presse hydraulique, de telle sorte que l'effort de rupture s'exerce perpendiculairement à la direction de leurs fibres. La compression se fait graduellement et diminue la hauteur de l'éprouvette comprise entre les deux plateaux.

On mesure avec soin les charges successives et les aplatissements correspondants à divers points de l'épreuve. On peut ainsi en construire la courbe et en déduire :

1° Le travail supporté par la pièce au moment où elle commence à se déformer.

Ce moment est indiqué par le point où l'affaissement, qui a d'abord augmenté proportionnellement à la charge, croît tout à coup plus rapidement, et où la courbe s'infléchit brusquement.

Ce point marque la limite élastique.

2° Le travail correspondant aux divers degrés d'affaissement qu'on peut avoir intérêt à noter, en particulier, à celui qui représente le maximum raisonnable de déformation, qu'on peut admettre en pratique, suivant l'emploi auquel la pièce est destinée;

3° Le travail correspondant à l'écrasement, c'est-à-dire au moment où les fibres se désagrègent et où les fentes se produisent.

Les charges sont rapportées au centimètre carré de la surface portante, et les valeurs du travail supporté au centimètre cube du volume de l'éprouvette.

D. — Essais de tension ou d'arrachement par traction.

Les éprouvettes ont en général, dans la partie à briser, une section rectangulaire de 0 m. 040 à 0 m. 060 de largeur, sur 0 m. 01 à 0 m. 02 d'épaisseur. La longueur de la partie utile est de 0 m. 25 à 0 m. 35.

Les têtes ont 0 m. 10 de long sur 0 m. 08 de côté, et sont saisies entre les mâchoires d'une machine de traction ordinaire, munies de mordaches à coins pour empêcher le glissement pendant la traction.

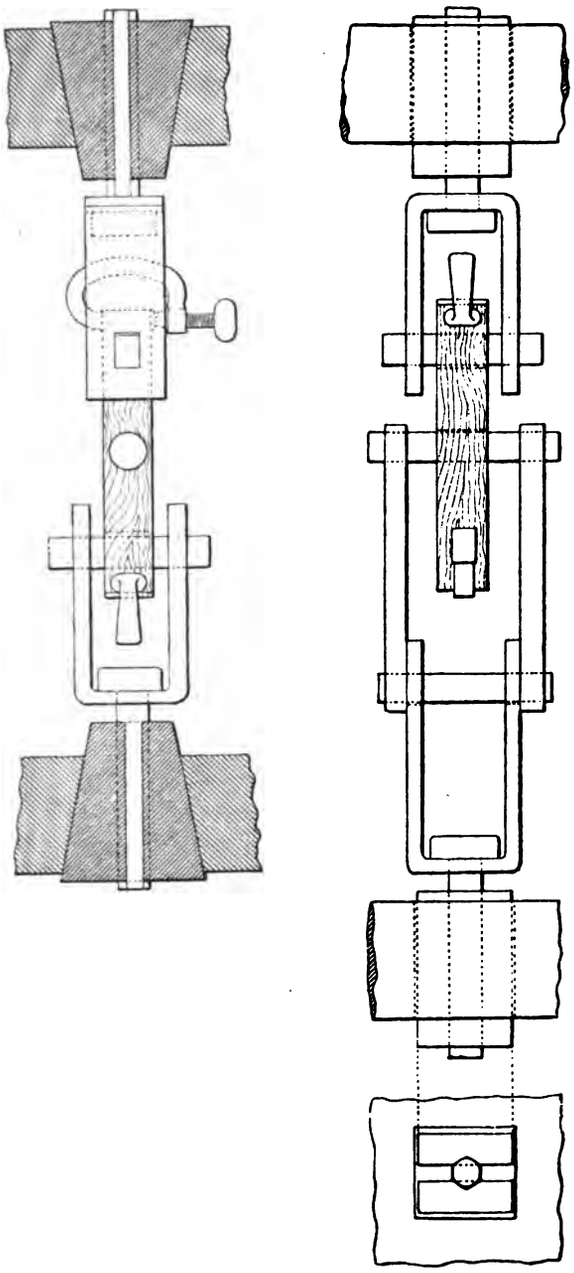
Les éprouvettes doivent être travaillées avec soin, de façon à ce que les fibres ne soient pas coupées.

On note la charge de rupture par millimètre carré de la section de la partie utile avant traction.

Cette épreuve n'a pas, au point de vue de l'appréciation de la qualité mécanique des bois, la valeur de l'épreuve de rupture par flexion. Elle est néanmoins indiquée pour certains emplois.

E. — Essais de cisaillement.

Le cisaillement des bois parallèlement aux fibres, c'est-à-dire le glissement des fibres les unes sur les autres sous un effort de traction dirigé, non plus dans le sens des fibres, mais latéralement à leur direction, est un mode de rupture qui se présente trop fréquemment dans la pratique, pour que l'essai destiné à constater leur résistance spéciale à ce genre d'efforts ne soit pas mentionné à la suite des précédents.



Un des procédés les plus simples pour exécuter cet essai est celui qui est employé au Laboratoire américain de Saint-Louis, et qui est décrit par M. le professeur Johnson dans le Bulletin n° 6 de la *Forestry Division*, du Département de l'Agriculture des États-Unis.

Les éprouvettes, à section carrée, de 0 m. 05 de côté et d'une longueur de 0 m. 20, sont percées, près de chacune de leurs extrémités, d'une mortaise rectangulaire de 0 m. 025 de largeur, les deux mortaises étant dirigées à angle droit l'une de l'autre.

Dans chacune d'elles passe une clavette rectangulaire de même épaisseur que la mortaise, engagée par ses bouts entre les deux branches d'un étrier saisi dans les mordaches à coins d'une machine à traction.

Les deux joues de la mortaise sont d'ailleurs maintenues contre l'écartement par une petite crampe à vis dont on règle le serrage au degré juste nécessaire pour sa tenue en place.

On note la charge au moment où l'une des clavettes défonce par cisaillement la mortaise correspondante, en même temps que la surface de glissement sur laquelle a porté l'effort.

Quand une des extrémités de l'éprouvette est défoncée, on relie le corps de l'éprouvette à la mordache correspondant au bout cisaillé par un étrier supplémentaire qui vient saisir les deux bouts d'une broche cylindrique passée en travers d'un trou pratiqué au centre même de l'éprouvette, et on recommence la traction jusqu'à ce que la seconde mortaise, dirigée dans un sens perpendiculaire à la première, soit défoncée à son tour. On a ainsi un second résultat donnant la résistance dans un sens perpendiculaire au premier.

La résistance des bois au cisaillement est en général beaucoup plus faible que la résistance à la rupture dans le sens des fibres.

F. — Essais spéciaux.

A ces essais, qui sont les plus fréquemment pratiqués dans les divers laboratoires, il convient d'ajouter certains essais mécaniques spéciaux exécutés en vue d'emplois déterminés.

De ce nombre sont les essais récemment faits au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, sur la résistance à l'usure par frottement et au choc, de bois destinés au pavage de la ville de Paris.

Ces essais, ainsi que la mesure des effets de dilatation produits sur les pavés par l'imbibition, font l'objet d'un très intéressant rapport de MM. Durand-Claye et Debray, auquel nous empruntons l'exposé des méthodes d'essai employées :

a) *Essai d'usure par frottement.*

Deux éprouvettes prismatiques à section rectangulaire, de 0 m. 06 sur 0 m. 04 de base, et de 0 m. 12 de hauteur, préalablement desséchées à 30° centigrades, puis imbibées d'eau par immersion pendant 5 à 6 jours, dans de l'eau à 30° centigrades, ont été placées après imbibition, bois debout, sous une charge totale calculée à raison de 250 grammes par centimètre carré de surface frottante, sur une meule tournante en fonte du système Dorry, saupoudrée d'émeri n° 3, et arrosée d'eau en quantité suffisante pour que le mélange de poudre d'émeri et d'eau forme une pâte susceptible de rouler sur la meule en avant de l'éprouvette, comme le fait le sable de grès employé pour les essais à sec des pierres.

L'une des deux éprouvettes était disposée sur la meule de telle sorte que ses couches concentriques fussent dirigées suivant le sens de la rotation, l'autre de telle sorte que ses couches fussent orientées dans le sens perpendiculaire au précédent.

La vitesse de rotation était de 2.000 tours par heure, et chacune des extrémités de l'éprouvette était appliquée sur la meule pendant un nombre de tours égal (1.000 pour chaque extrémité); le parcours linéaire total subi par l'éprouvette était dans ces conditions de 3.280 mètres.

Au bout d'une heure on mesurait l'usure ou la perte de hauteur de chacune des éprouvettes, dont on avait noté, avant le commencement de l'opération, le pourcentage d'imbibition.

Il résulte de ces essais que la densité des éprouvettes est un des éléments principaux de la résistance à l'usure ; l'usure est d'autant plus faible que la densité est plus forte.

En revanche, l'orientation des couches annuelles par rapport à la direction du mouvement ne paraît pas influer d'une manière sensible sur les résultats d'usure.

b) *Essais au choc.*

Ces essais ont été faits sur des éprouvettes à l'état sec et sur des éprouvettes à l'état d'imbibition.

Les éprouvettes étaient taillées en prismes à base carrée, de 0 m. 06 de côté et de 0 m. 12 de hauteur.

Celles qui devaient subir le choc à l'état sec avaient été desséchées à l'étuve à 30° centigrades, jusqu'à ce que leur poids demeurât constant.

Celles qui devaient être essayées après imbibition avaient été, après dessiccation comme les précédentes, imbibées par une immersion de plusieurs jours dans l'eau à 30° centigrades.

Les éprouvettes étaient placées bois debout, au centre d'une caisse démontable en fonte, ouverte, à section carrée, de 0 m. 07 de côté et de 0 m. 14 de hauteur, fixée à la chabotte par des boulons.

Elles étaient reliées aux parois intérieures de cette caisse par un ciment de résine, coulé à chaud, qui en assurait l'encastrement sur toute la hauteur de la caisse. Une hauteur de 0 m. 01 de l'éprouvette dépassant les bords supérieurs de la caisse était seule non encastrée.

Cette hauteur de 0 m. 01 non encastrée était obtenue, pour les éprouvettes de 0 m. 12 de hauteur, au moyen d'une cale en fonte de 0 m. 03 d'épaisseur placée au fond de la caisse.

L'épreuve était ainsi faite dans des conditions reproduisant aussi fidèlement que possible celles de l'encastrement des pavés dans une chaussée dont les joints se sont déjà ouverts à la surface.

Le mouton pesait 20 kilogrammes et la panne était à section carrée de 0 m. 062 de côté.

La hauteur de chute, constante, était de 2 mètres dans toutes les épreuves.

Dans la première période, qui peut être considérée comme période élastique, c'est-à-dire avant déformation notable et écrasement ou séparation des fibres, le mouton rebondissait fortement.

A partir du moment où la déformation s'accentuait, le mouton rebondissait de moins en moins et l'affaissement du prisme allait en croissant.

L'essai était arrêté après un nombre de coups de mouton déterminé, puis on mesurait, avec un pied à coulisse, l'affaissement total du prisme, après le démontage de la caisse en fonte.

La partie écrasée de l'éprouvette affectait à ce moment la forme d'un champignon à la partie supérieure, avec ou sans fentes, suivant l'état primitif de l'éprouvette ou l'inclinaison de ses fibres par rapport à la direction des coups.

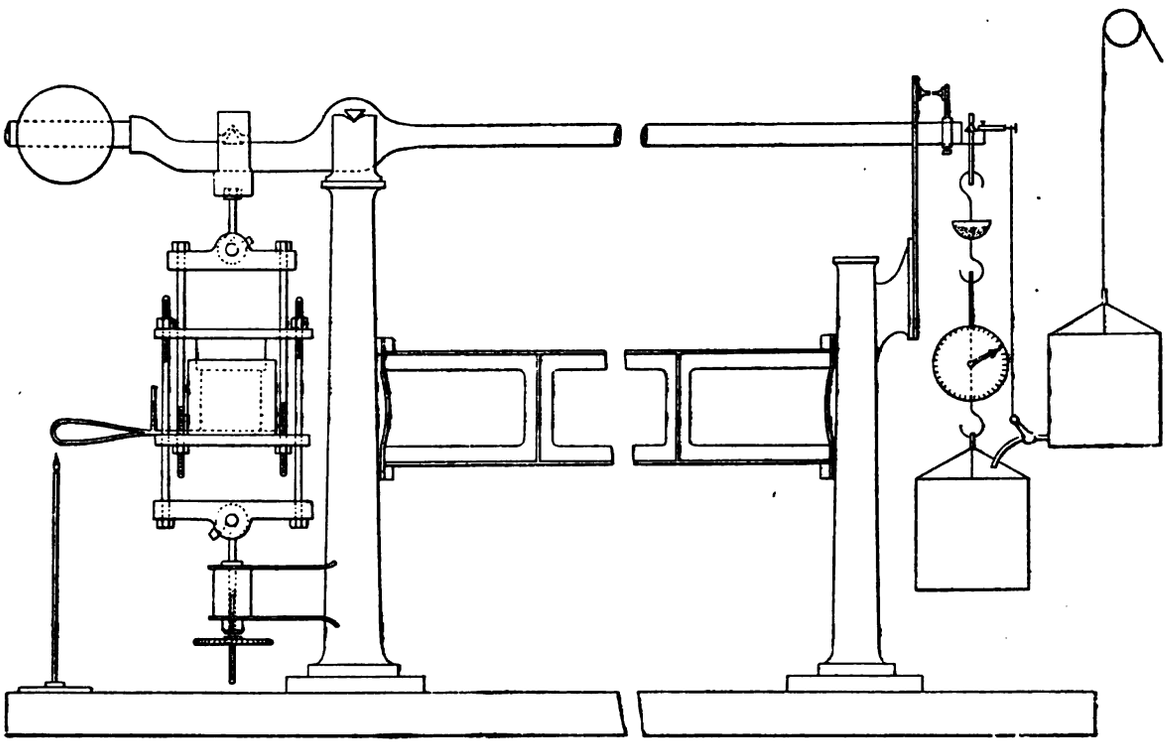
Ces essais ont fait ressortir, comme ceux de compression parallèle aux fibres, l'accroissement des affaissements avec les degrés d'imbibition, pour un même bois. Ils ont en même temps montré que ces affaissements, permanents pour les bois secs, étaient susceptibles de diminuer et de disparaître en partie au bout d'un temps plus ou moins long, pour les bois imbibés, dont les fibres déformées ont une tendance marquée au redressement.

c) *Mesure des efforts de poussée produits par l'imbibition.*

Les pavés, gouflant par l'imbibition, exercent les uns sur les autres une poussée quand leur dilatation n'est par libre.

Cette poussée a pu être mesurée au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées avec un dispositif ingénieux dû à M. Klein.

Ce dispositif, dont le fonctionnent est automatique, a été adapté par son auteur à une machine à levier au 1/10e, qui servait antérieurement aux essais de briquettes de ciment.



Il consiste à équilibrer l'effort de poussée du pavé imbibé, transmis au petit bras de la romaine, par le poids d'un écoulement automatique de mercure tombant dans un seau accroché au grand bras, et facilement mesurable.

La transmission au petit bras de la romaine de l'effort de poussée du pavé imbibé sur les parois qui l'entourent, se fait de la façon suivante :

Le ou les pavés soumis à l'expérience sont enfermés, de champ, dans un récipient étanche, destiné à recevoir l'eau d'imbibition et serrés entre deux plateaux, supérieur et inférieur, de telle sorte que la face supérieure des pavés, calée par un bloc de fonte faisant saillie hors du récipient, contre le plateau supérieur qui est fixe, ne puisse se prêter à l'effort de dilatation. Ce dernier se fait alors sentir sur le fond du récipient, et par suite sur le plateau inférieur, qui est mobile en hauteur, et relié par des boulons à une traverse attelée sur le petit bras du levier de la romaine.

L'effort de poussée exercé par les pavés sur le fond du récipient et sur le plateau qui le supporte se transforme ainsi en effort de traction sur ce petit bras de levier, et tend à rompre l'équilibre qu'on avait eu soin au préalable d'assurer en réglant, au moyen d'une vis, l'horizontalité du fléau.

Au bout extrême du grand bras de levier est fixée une tige rigide qui ouvre automatique-

ment, dès que le grand bras tend à se soulever, le robinet d'écoulement d'un réservoir contenant du mercure.

Ce mercure s'écoule dans le seau suspendu au grand bras, en quantité voulue pour maintenir le fléau dans la position horizontale, et son poids, mesuré par un peson à ressort, donne à chaque instant la mesure de l'effort de poussée exercé par les pavés imbibés, dans le sens où leur dilatation a été empêchée.

On note cet effort à des intervalles espacés, d'abord de 3 heures en 3 heures, puis de 12 heures en 12 heures, puis de 24 heures en 24 heures, jusqu'à ce que leur valeur ait cessé de croître d'une manière sensible, malgré la prolongation de l'imbibition.

Il est à remarquer que la dilatation du pavé n'étant empêchée que dans un seul sens, et pouvant se produire librement dans les deux sens perpendiculaires, la mesure des efforts donnée par l'appareil n'est pas rigoureusement celle qu'on trouverait si la dilatation était aussi empêchée suivant les deux autres axes, ou seulement suivant un des deux autres axes, comme cela a lieu dans l'application.

Mais l'indication fournie par l'essai n'en a pas moins une valeur très appréciable pour la construction des chaussées et l'évaluation de leurs poussées latérales.

La comparaison des résultats, qui n'eût pas été possible si on avait opéré sur des pavés à des degrés de siccité variables, a pu être établie entre les diverses essences employées, grâce à la précaution prise de dessécher au préalable tous les échantillons à l'étuve à la température de 30° degrés centigrades, jusqu'au point où leur poids cessait de varier. L'imbibition était ensuite faite dans le récipient de l'appareil par de l'eau maintenue, à l'aide d'un petit thermosiphon, à une température constante de 30° centigrades.

VI. — BOIS DE MARINE.

La marine militaire emploie, pour la construction des navires et de leurs accessoires, des bois de chêne, droits ou courbes, équarris, des bordages et planches de chêne, des bois résineux en billes, poutres, bordages et planches, et en pièces de mâture, des bois d'orme, de frêne, de teck, et aussi, pour des travaux secondaires, des merrains, des bois de noyer, de hêtre, de peuplier, d'acajou, de gaïac, de cormier, etc.

Bois de chêne.

Les bois de chêne équarris, droits ou courbes, doivent être d'essence maigre. Les bois gras de certaines régions, qui portent souvent des lunures, sont écartés.

Les opérations de recette ne comprennent pas en général d'essais mécaniques; elles se bornent à un examen attentif des pièces présentées et de leurs vices, à la fixation de leurs dimensions et des réductions que les vices découverts, quand ils ne sont pas une cause d'exclusion, doivent entraîner dans leur classement.

Le classement est fait en diverses catégories, d'après la forme des bois et la nature des pièces du navire qu'ils sont appelés à fournir.

Suivant leur forme, les bois sont classés en :

Bois droits, auxquels on tolère pourtant une légère flèche ou courbure;

Bois courbants, dont la courbure est régulière et continue sans coude ni jarret, et dont quelques-uns présentent une double courbure;

Et *Courbes*, pièces droites qui en un certain point de leur longueur forment un coude brusque sur une face avec congé de raccordement sur l'autre face.

Dans chacune de ces trois catégories, le classement fait figurer les bois sous une appellation qui est celle de la pièce du navire qu'ils doivent fournir et qui constitue ce qu'on appelle *signal:* quille, étambot, bitte, plançon, etc.

Chaque signal est subdivisé, suivant ses dimensions, en *espèces*, de telle sorte que les bois

de même espèce dans chaque signal aient sensiblement la même valeur. Le rang de l'espèce représente ainsi la rareté des bois et la difficulté qu'on éprouve à se les procurer, par conséquent leurs prix.

La détermination des dimensions de la pièce à recevoir, ycompris les réductions éventuelles que peuvent entraîner ses vices, est donc en marine l'opération capitale; elle décide du classement et du cubage et par conséquent de la valeur à laquelle la pièce sera payée.

La longueur se mesure aisément sur les pièces droites; sur les pièces courbes elle se mesure suivant le développement d'une ligne tracée à égale distance de ses deux faces courbes. Cette longueur est toujours exprimée en nombres pairs de décimètres. Si le chiffre est impair, on prend le nombre inférieur d'une unité; si le chiffre impair est un peu dépassé, on force d'une unité.

L'équarrissage comprend la *largeur sur le tour*, ou distance entre les faces courbes des pièces, et *l'épaisseur sur le droit*, ou distance entre les faces planes, mesurée sur les faces courbes.

Ces deux dimensions sont évaluées en nombre pair de centimètres, suivant la même règle que précédemment.

Le mesurage des dimensions doit être fait en ne tolérant comme aubier sur les angles que 15 p. 100 de la largeur de chaque face.

Si l'aubier est plus considérable, on restreint les dimensions de façon à les ramener dans les limites voulues.

Pour quelques signaux seulement, on ne tolère pas d'aubier, et on exige que les pièces soient à vive arête sur franc bois.

La visite de chaque pièce se fait en pratiquant aux deux bouts et de distance en distance, sur chaque face, des enlevures de bois permettant de juger la couleur, l'odeur et le degré de liant des copeaux. Le pied de l'arbre mérite une attention particulière; on vérifie par un trou de tarière la nature de la matière qui en sort, son degré de cohésion et son odeur. Si on découvre un commencement de pourriture, on perce des trous transversaux sur la longueur, jusqu'à ce qu'on rencontre le bois sain. Si le mal s'arrête brusquement, on le purge en éboutant; s'il se prolonge, on rebute la pièce.

Les fentes au cœur, quand elles constituent la cadranure, sont une cause de rebut.

La lunure et la roulure en sont une également.

Les fibres torses entraînent une forte déchéance.

Les gélivures se constatent par le sondage des fentes superficielles; suivant leur profondeur, on rebute ou on reçoit avec dépréciation.

Les nœuds gâtés sont vidés et purgés; s'il y a commencement de grisette et si le mal s'étend, il y a lieu à rebut ou à dépréciation suivant la situation du défaut.

Les petites fentes et légères cavités de sonde qui n'excèdent pas le dixième de l'équarrissage théorique pour les pièces de membrures et le vingtième pour les autres pièces, ne sont pas comptées comme défectuosités.

La dépréciation pour cause de vices non rédhibitoires peut être, suivant le cas, soit une chute dans le rang de l'espèce, soit un classement dans les signaux de déchéance, qui servent à des usages secondaires, tains, bois de chantier, etc.

Les bordages et planches de chêne sont divisés en cinq classes suivant leur longueur et leur largeur, et en quatre catégories suivant leur épaisseur. La visite et la recette en sont faciles, les bois étant débités.

Les fentes profondes, les nœuds trop nombreux ou trop gros, les fibres torses ou coupées sont des causes de rebut.

Les bois gras peuvent être acceptés pour cet emploi.

Bois résineux.

Les bois résineux sont classés, suivant leur essence, leur provenance, leur mode d'équarrissage ou de débit, en :

1° Bois de construction résineux équarris ou en billes :

Pins des États-Unis d'Amérique en poutres carrées (yellow-pin et pitchpin);

Pins du Nord en poutres à 8 pans, dites *à la hollandaise;*

Pins du Nord en poutres carrées, dites *à l'anglaise;*

Pins de Suède et de Norvège en poutres et poutrelles;

Pins de France, en billons ronds;

Sapins de France équarri ou en *filières;*

Sapins de France en billons ronds ou *forants.*

2° *Bois de construction résineux débités :*

Pins du Nord, de Corse (pin Laricio) et des États-Unis d'Amérique en bordages et en planches bruts;

Bois de Suède et de Norvège bruts en madriers (bois rouges et bois blancs);

Bois de Suède et de Norvège bruts en bastins (bois rouges et bois blancs);

Bois de Suède et de Norvège bruts en planches (bois rouges et bois blancs);

Sapin de France en planches.

Les bois de mâture forment une catégorie spéciale.

Dans chacune des divisions qui précèdent, les pièces sont classées suivant leurs dimensions et, pour les bois débités, suivant leur qualité (1re et 2e)

Les pins d'Amérique doivent provenir des États du Sud (Virginie, Georgie, Louisiane, Florides) et la provenance en être indiquée par un certificat d'origine.

Ils doivent être à grain fin de première qualité et provenir d'arbres non gemmés. Les fentes et les roulures, auxquelles ces bois sont très sujets, sont une cause d'exclusion. Quant aux nœuds, ils doivent être peu nombreux, sains, adhérents et d'une grosseur modérée.

Les poutres doivent être équarries à vive arête et ne pas avoir plus de 15 p. 100 d'aubier à chaque angle, mesuré sur la face qui en a le plus.

La longueur moyenne exigée par les marchés est de 11 mètres environ.

Les dimensions se mesurent comme pour les bois de chêne de construction.

Les bordages doivent également être débités à vive arête et avoir le cœur en dehors pour les épaisseurs inférieures à 10 centimètres. Quand le cœur apparaît sur une face, il ne doit pas y occuper plus de la moitié de l'épaisseur. On peut tolérer 10 à 15 p. 100 d'aubier sur la face supérieure. Au delà de cette proportion, il y a lieu à réduction.

La longueur des bordages est en moyenne de 9 mètres (longueur minimum 7 m. 50).

Les pièces qui n'ont pas les dimensions requises pour faire des bordages, et qui présentent certains défauts (fentes, gerçures, nœuds non adhérents) sont classées comme planches. Elles servent aux travaux de chantier.

Les pins du Nord (Pologne, Prusse, Finlande, Riga), beaucoup moins riches en sève résineuse que les bois d'Amérique, donnent des poutres à 8 pans, dites *à la hollandaise,* qui sont destinées à être débitées pour faire des bordages d'embarcation, et pour lesquelles on exige une qualité supérieure, des nœuds rares, petits, sains et adhérents, et des poutres carrées dites *à l'anglaise,* qui sont employées comme bois de charpente ou de menuiserie et pour lesquelles on exige une qualité moindre que pour les précédentes. On y tolère des nœuds abondants et même non adhérents pourvu qu'ils soient sains et pas trop gros.

La roulure et les fentes au cœur diagonales sont toujours une cause d'exclusion ou de forte réduction suivant l'emploi.

On admet 33 p. 100 d'aubier pour chaque face au maximum, pourvu qu'il soit sain et sans tache.

Les pins de Suède et de Norvège (bois rouges) donnent des poutres et des poutrelles carrées, des madriers, des bastins et des planches, de texture serrée, très homogène, à fibres fines et délicates.

Les conditions de recettes sont les mêmes que pour les précédents.

La longueur moyenne des poutres et des poutrelles est de 8 mètres. Elles ne diffèrent que par l'équarrissage, qui ne doit pas descendre au-dessous de 0 m. 24 pour les poutres, et de 0 m. 16 pour les poutrelles.

Les madriers, bastins et planches sont classés en deux qualités :

La première ne comporte qu'un cinquième d'aubier sur la face la plus chargée, et l'aubier doit être sain et sans taches. Les bois doivent être à vive arête et sans défournis.

La deuxième peut comporter un tiers d'aubier sur la face qui en a le plus, et quelques taches bleues sur l'aubier. On admet quelques défournis sur les arêtes.

Les gros nœuds et les nœuds non adhérents, les fentes, les roulures et de nombreux défournis sont une cause d'exclusion.

La longueur de ces pièces est en moyenne de 5 mètres. L'épaisseur des madriers et des bastins ne doit pas être inférieure à 0 m. 06. Au-dessous de 0 m. 06 les pièces sont classées comme planches. La largeur des madriers ne doit pas descendre au-dessous de 0 m. 20; celle des bastins au-dessous de 0 m. 18.

Les pins de France (pins sylvestres) appelés souvent improprement sapins rouges, donnent à la Marine des billons ronds destinés à être débités pour faire des bordages de pont. Ils ont généralement une fente au cœur qu'on tolère, à la condition qu'elle ne dépasse pas le tiers du rayon de chaque côté du centre, et parallèlement à laquelle se fait le débit en bordages.

Les roulures et fentes, les piqûres de vers sont des causes de rebut.

Les sapins de France, généralement désignés sous le nom de *bois blancs*, sont moins résineux que les pins et de couleur plus claire. Ils fournissent soit des pièces équarries ou filières et des billons ronds ou forants, soit des planches.

Leurs conditions de recette sont les mêmes que celles des bois rouges; absence de roulures et de fentes, de piqûres de vers et de nœuds gros non adhérents. Ils doivent être sains et de fraîche coupe et bien droits.

Le minimum de longueur admis est de 10 mètres pour les filières et de 12 mètres pour les forants. L'équarrissage des filières doit être au minimum de 0 m. 28 mesuré à la ficelle et en prenant le quart du périmètre.

Le diamètre des forants au petit bout ne doit pas descendre au-dessous de 0 m. 24.

Les sapins de Suède et de Norvège, bois blancs d'essence supérieure, donnent des madriers, bastins et planches de première et de deuxième qualités, dont les conditions de recette sont les mêmes que celles des bois rouges de même provenance

Bois de mâture.

Les bois de mâture sont classés d'après leurs dimensions, en mâts, mâtereaux et espars.

Leur tarif de classement sert de base à la recette et a pour point de départ la relation qui doit exister, dans le mât type, entre sa longueur, son grand diamètre et son petit diamètre.

La longueur doit avoir autant de mètres que le grand diamètre a de palmes, c'est-à-dire de fois 0 m. 03 sur franc bois.

Ce grand diamètre se mesure au sixième de la longueur de la pièce.

Le petit diamètre doit être les deux tiers du grand diamètre.

Il se mesure au point de la pièce qui marque la longueur du mât régulier que peut fournir la pièce.

Les prix sont réglés non d'après le cube de la pièce, mais d'après le numéro du mât régulier qu'elle peut fournir. Ces prix croissent plus vite que le cube du diamètre, bien que tous les mâts réguliers soient des solides semblables, en raison de la difficulté qu'il y a à se procurer les pièces d'échantillons supérieurs.

Les excédents de l'une ou l'autre des dimensions sur celles du mât régulier sont payés suivant un tarif particulier.

Les bois de mâture sont choisis parmi les pins de Corse, du Nord, du Canada, des Florides et de Vancouver.

Le grain doit être fin et serré, les couches annuelles bien égales, la matière résineuse abondante et disposée par zones régulières, les fibres serrées bien adhérentes, la couleur rouge pâle. La couleur blanche ou rouge foncé ne correspondrait pas aux qualités requises.

De plus, les nœuds doivent être rares, petits et sains.

Les taches, roulures et gélivures, l'entr'écorce et les frottures sont à écarter, car elles sont l'indice d'une faible durée pour le bois qui en est atteint et que la pourriture envahira rapidement.

Au-dessous de 0 m. 51 et jusqu'à 0 m. 24 au grand diamètre, les pièces de mâture sont classées comme mâtereaux.

La forme des mâtereaux est un peu différente de celle des mâts; la longueur y est plus grande par rapport au diamètre. Le petit diamètre est toujours égal aux deux tiers du grand, mais, jusqu'à 12 palmes, la longueur en mètres est égale aux trois dixièmes du nombre de palmes augmenté de la constante 12.

De douze à huit palmes, c'est-à-dire pour les menus mâtereaux, la longueur en mètres est égale au nombre de palmes augmenté de la constante 4. Au-dessous de huit palmes les pièces sont classées comme espars.

L'emploi du pin pour les espars n'est pas toujours exigé comme pour les mâts et les mâtereaux. On les fait souvent en sapin de Suède ou de Norvège, ou même en sapin de France, et on les choisit parmi les bois blancs sains, droits, flexibles et vigoureux, ayant peu de nœuds et pas de nœuds gros.

Bois d'orme, de frêne, de teck et divers.

L'orme est employé dans la marine, concurremment avec le chêne, pour la construction d'un certain nombre de pièces du navire et est toujours choisi parmi les bois d'orme de France à l'exclusion des ormes de Hollande et du Canada, qui sont plus gras, plus mous et moins résistants que nos ormes du nord de la France.

Il est livré en grume, en billes droites ou courbes et en billons droits, ayant conservé tout ou partie de leur écorce, et doit être de fraîche coupe, de couleur rougeâtre, dur, tenace, élastique et exempt de roulures, gélivures, cadranures, et de nœuds trop gros et trop nombreux.

Le frêne est un bois dur très liant et très élastique qui est livré en grume, en billes (frêne de France), ou en pièces débitées de droit fil et sans fibres tordues ou tranchées, pour faire des avirons (frêne d'Amérique).

Les conditions de recette sont analogues à celles de l'orme.

Le teck de l'Inde, le plus employé aujourd'hui dans la Marine, bien qu'inférieur en qualité au teck de Java et de Malabar, est un bois sans nœuds, se fendant très peu, de fibres très droites et d'une durée supérieure à celle de presque tous nos bois. Il est en même temps très léger (sa densité est de 0,750 environ). Il est sujet à de gros trous de vers qui ne sont pas pour les pièces présentées une cause d'exclusion quand ils ne sont ni trop profonds, ni trop multipliés.

Il est livré en poutres équarries, pour lesquelles on tolère, sur les angles, de l'aubier ou quelques défournis, pourvu que la proportion n'excède pas 15 p. 100 de la largeur des faces adjacentes.

On tolère également une certaine courbure, pourvu que cette courbure soit bien suivie et toujours dans le même sens.

Les gerçures, fentes, roulures, cadranures prononcées sont des causes de rebut.

Le noyer, le hêtre, sont livrés en plateaux débités, avec le cœur en dehors, et pour lesquels on exige une coupe ancienne (de 1 à 3 ans), des pièces bien dressées, à faces planes et d'épaisseur uniforme, sans roulures, gélivures, cadranures, etc. On tolère l'aubier jusqu'à concurrence des vingt-cinq centièmes de la largeur des plateaux.

Les merrains, en chêne de France ou du sud des États-Unis d'Amérique, sont des bois de fente, débités sur maille, sans cœur ni aubier; ils doivent être bien droits, à vive arête, sains et sans piqûres de vers.

Conservation des bois de marine.

Les bois de construction, dont l'approvisionnement est considérable et dont la mise en œuvre n'a souvent lieu que de longues années après leur réception, sont conservés par l'immersion prolongée dans l'eau.

L'immersion dans l'eau douce a l'avantage de les préserver de l'attaque des tarets et de dissoudre plus rapidement la sève et les éléments putrescibles, mais elle les énerve et les ramollit plus que l'eau de mer.

On a été ainsi conduit à la conservation dans l'eau saumâtre, à l'embouchure d'une rivière, où le taret ne vit pas et où la force des fibres se conserve mieux, ou, à défaut, à la conservation dans la vase, où le taret ne vit pas non plus, mais où la manipulation des pièces est extrêmement difficile.

La conservation sur une plage découvrant à marée basse et à un niveau tel que les assèchements périodiques des piles ne soient pas assez prolongés pour amener la dessiccation des bois, est aussi employée.

Le taret se montrant rarement plus haut qu'un certain niveau situé un peu au-dessous du plan moyen des marées on pourrait à la rigueur, en choisissant convenablement le niveau de

la plage, arriver, malgré les immersions périodiques, à préserver les bois de l'atteinte de ces vers. Mais malgré toutes les précautions prises on reste encore exposé à leur invasion et ce procédé n'est pas à recommander.

Les bois de mâture sont conservés dans l'eau douce. Cette immersion les préserve à la fois de la déperdition de la résine et de la pourriture de l'aubier.

Les bois débités peuvent être conservés à l'air, en piles dans les hangars.

A leur extraction des fosses d'immersion, les bois doivent subir une dessiccation prolongée pour les débarrasser de l'eau dont ils sont saturés. On les empile dans les hangars où ils doivent séjourner de deux à trois ans.

Les bois de mâture seuls, quand ils doivent être employés à la confection de mâts ou de vergues d'une seule pièce, peuvent être mis en œuvre tout de suite. Mais, s'ils sont destinés à la confection de mâts d'assemblage, ils doivent comme les autres bois être soumis à la dessiccation naturelle.

On n'emploie pour les bois de marine aucun procédé de dessiccation artificielle ni d'injections aux antiseptiques.

VII. — BOIS DE CHARPENTE ET DE CONSTRUCTION.

Les bois autres que ceux de la marine, destinés à la charpente et à la construction, en général chêne et bois résineux de diverses essences, n'ont plus de dimensions types et sont livrés dans les diverses régions suivant ce que les arbres ont permis de donner. Ils sont classés dans chaque pays, suivant leurs dimensions, sous des appellations variées, dont chacune est afférente à une catégorie de bois à peu près de même valeur, et les opérations de recette, comme celles des bois de marine, mais beaucoup plus sommaires, consistent surtout à fixer les dimensions en tenant compte des vices et défectuosités qui sont de nature à entraîner des réductions.

L'appréciation de la valeur des pièces, en tant que qualité, découle d'ailleurs des indications exposées aux paragraphes précédents.

VIII. — TRAVERSES DE CHEMINS DE FER.

Les compagnies de chemins de fer emploient pour leurs traverses, à de très rares exception près, du chêne, du hêtre et du pin.

Le chêne est employé le plus souvent à l'état naturel ou vierge quand il est sans aubier, et toujours à l'état préparé ou injecté quand il a de l'aubier. L'aubier seul d'ailleurs dans le chêne s'injecte convenablement.

Le hêtre est toujours employé à l'état injecté et la facilité qu'il présente à l'imbibition de l'antiseptique assure aux traverses de cette essence, injectées à la créosote, une durée au moins égale, sinon supérieure, à celle des traverses en chêne.

Le pin est toujours injecté.

Tous ces bois doivent être sains, exempts de nœuds vicieux, lunures, roulures, gerçures, gélivures, cadranures, fibres torses, pourriture rouge au cœur, piqûres de vers, et d'un âge leur assurant un développement parfait, de soixante-dix à cent ans pour le chêne et le hêtre, et de soixante ans au moins pour le pin.

En France, le chêne et le hêtre, de provenance française, doivent être de la qualité maigre. Le pin est généralement du pin maritime.

Ils doivent avoir été abattus hors sève, ce qui leur donne une plus grande facilité à l'imbibition des antiseptiques et une garantie de durée plus grande.

Ils sont débités en traverses : le chêne et le hêtre de préférence sous la forme équarrie à section rectangulaire, mais aussi sous la forme demi-ronde, ou la forme demi-ronde partiellement équarrie, avec prédominance du cœur; le pin plus généralement sous la forme demi-ronde ou la forme mixte.

Leurs dimensions varient : en longueur, de 2 m. 50 à 2 m. 70; en largeur de 0 m. 21 à 0 m. 25 pour les traverses équarries, et de 0 m. 28 à 0 m. 32 pour les demi-rondes; en hauteur de 0 m. 14 à 0 m. 16 pour les traverses équarries, et de 0 m. 14 à 0 m. 18 pour les demi-rondes.

On admet des tolérances de flèches ou défournis assez larges, pour se tenir dans des limites de prix raisonnables.

Toutes ces traverses sont desséchées avec soin par empilage en « grille » dans les chantiers pendant un temps variable de trois mois à un an, jusqu'à ce que la dessiccation soit suffisante pour l'injection aux antiseptiques.

Le plus souvent cette dessiccation naturelle suffit; on s'en assure en pesant les traverses et en vérifiant que leur poids spécifique ne dépasse pas la valeur correspondante du bois sec (850 kilogrammes pour le chêne, 750 kilogrammes pour le hêtre et 600 à 650 kilogrammes pour le pin). Plus rarement, on achève la dessiccation à l'étuve, à une température de 80 à 100 degrés.

Les traverses sont alors soumises à l'injection.

En France, c'est la créosote qui est presque toujours employée; le sulfate de cuivre est pourtant quelquefois en usage sur le réseau d'Orléans; le chlorure de zinc mélangé à la créosote, sur le réseau de l'État.

Le procédé d'injection est presque toujours le procédé « Béthell » avec vide de 0 m. 50 à 0 m. 55 de mercure, maintenu pendant 30 à 45 minutes; la créosote est à 60° centigrades, refoulée et injectée à la pression de 6 kilogrammes, pression maintenue pendant une heure.

Quelques compagnies emploient le procédé « Blythe », consistant à soumettre les pièces à un courant de vapeur d'eau et d'huile créosotée dans un cylindre où on élève la pression jusqu'à 5 atmosphères, puis à immerger, sous la même pression, les bois dans un bain de créosote à 60 degrés.

L'injection au chlorure de zinc (procédé Burnett) a la préférence à l'étranger. Mais le créosotage donne de meilleurs résultats.

Les traverses en chêne absorbent en moyenne chacune 5 litres de créosote; celles en hêtre 16; celles en pin 12 litres environ.

Les traverses sont alors de nouveau empilées en « grille » jusqu'à leur emploi.

Leur densité est notablement augmentée par l'injection, et leur durée augmentée de 40 à 50 p. 100.

Les bois de traverses sont soumis aux essais mécaniques de flexion, de compression parallèlement et perpendiculairement aux fibres, et de cisaillement, dont les conditions sont indiquées au chapitre V.

Il est à recommander que les essais soient faits à la fois sur les traverses vierges et sur les traverses après injection.

IX. — ÉTAIS ET BOISAGES DES MINES.

Les bois de mines sont pris à peu près dans toutes les essences, et de toutes provenances.

Les meilleurs sont le chêne et le pin sylvestre : ce sont les plus résistants; mais le hêtre, le châtaignier, l'orme, le frêne, le sapin, le mélèze, le peuplier, le bouleau, l'aulne, le charme, sont également employés suivant les régions et les exigences de l'exploitation et du prix de revient des boisages.

Les conditions de durée ont une importance beaucoup moindre pour ces bois que pour les bois des autres constructions, l'écrasement des boisages par suite de la poussée des terres survenant le plus souvent bien avant que les bois ne soient atteints par la pourriture.

Les procédés de conservation sont pour cette raison assez sommaires, on s'attache surtout à ce que le coût en soit faible, et à ce que les bois ne deviennent pas plus cassants après injection.

La créosote, le chlorure de zinc, le sulfate de cuivre, le sulfate de fer et quelquefois les eaux vitrioliques des mines de pyrites de fer et de cuivre, sont employés pour la préservation de ces bois. Les plus recherchés à cause de leur bas prix sont le sulfate de fer et les eaux de mines. L'injection a lieu le plus souvent par immersion et est toujours superficielle.

Les bois sont livrés tantôt en grume (perches, buttes, piquets), tantôt équarris, ces derniers réservés pour des emplois spéciaux (madriers, palplanches, écoins).

Aucun d'eux n'est soumis avant la recette à des essais mécaniques.

Les boisages sont souvent renouvelés, la charpente en est grossière, et on n'attache pour cette raison qu'une importance secondaire à la qualité des bois.

La consommation en est du reste considérable et, à la condition essentielle que les bois soient sains et résistants, l'élément principal de la recette est le bon marché.

X. — POTEAUX TÉLÉGRAPHIQUES.

Les poteaux télégraphiques sont des bois de pin ou de sapin non gemmés, de 12 mètres à 6 m. 50 de longueur, injectés au sulfate de cuivre par le procédé dit « de pression » du docteur Boucherie, dont l'Administration française des Postes et Télégraphes est propriétaire en ce qui concerne les bois destinés à son service.

Ces bois doivent être sains et droits et, comme les bois de mâture de la marine, d'un diamètre à un bout notablement inférieur au diamètre principal mesuré à 1 mètre de la base.

Le diamètre du cœur, au petit bout, ne doit pas excéder les deux tiers du diamètre principal.

Ce dernier, mesuré sans écorce, à 1 mètre de la base du poteau, doit être au moins de :

0 m. 26 pour les poteaux de 12 mètres de long,

0 m. 22 pour les poteaux de 10 mètres de long,

0 m. 18 pour les poteaux de 8 mètres de long,

0 m. 14 pour les 4/5 des poteaux de 6 m. 50 de long,

0 m. 17 pour le dernier cinquième de ces poteaux de 6 m. 50.

Le diamètre au petit bout, mesuré sans écorce, doit être au moins de 0 m. 10 pour les longueurs de 12 mètres à 8 mètres; de 0 m. 09 pour la longueur de 6 m. 50 ayant 0 m. 14 de diamètre principal, et de 0 m. 12 pour cette même longueur quand le diamètre principal est de 0 m. 17.

Les excédents de diamètres sont tolérés.

Ces bois doivent être livrés tout injectés; aussitôt abattus ils sont soumis à cette opération, qui doit être faite dans les conditions suivantes :

La hauteur de la colonne de liquide antiseptique, sous la pression de laquelle se fait l'injection, augmente avec la longueur du poteau à injecter.

Elle est de 6 mètres à 6 m. 50 pour les poteaux de 6 mètres de long, de 8 mètres à 8 m. 50 pour ceux de 8 mètres, de 9 à 10 mètres pour ceux de 10 mètres, et de 11 à 12 mètres pour ceux de 12 mètres.

La proportion de sulfate de cuivre doit être au minimum de 1 kilogramme de sel pour 100 kilogrammes d'eau.

L'injection se fait par le gros bout et doit pénétrer le poteau dans toute sa longueur.

Comme vérification, l'Administration se réserve le droit de sacrifier cinq poteaux par mille et de les faire scier en divers points de leur longueur pour s'assurer que la préparation a été convenablement faite.

La proportion de 1 poteau non pénétré sur 5, suffit à entraîner le rebut du lot.

Trente jours après l'injection, on enlève l'écorce, on lisse la surface des poteaux et on taille le sommet en cône.

Puis on procède au mesurage des dimensions et au classement des bois.

Quand l'injection a été bien faite, la durée des poteaux télégraphiques peut aller jusqu'à cinq années et au delà. Quelques-uns ont duré de 15 à 20 ans.

XI. — CONCLUSIONS.

On peut tirer de l'exposé qui précède les conclusions suivantes sur les essais des bois :

1° Il convient de relater, autant que possible, toutes les indications relatives à la provenance, à l'âge et à l'époque de l'abatage des bois, aux conditions dans lesquelles l'arbre a vécu (nature du sol, climat, etc.), et, s'il s'agit de petits échantillons, à la partie de l'arbre à laquelle appartient l'échantillon.

2° On procédera à un examen microscopique de copeaux ou tranches extrêmement minces, prélevés au microtome sur les bois à étudier.

Ces copeaux, examinés par transparence, feront ressortir les caractères physiologiques et les propriétés organoleptiques du bois.

On notera spécialement :

a) Le nombre des couches annuelles, depuis le pourtour jusqu'au centre, si on est en possession d'une tranche complète de l'arbre.

Leur épaisseur moyenne et leur disposition régulièrement concentrique ou excentrée.

b) L'épaisseur de l'aubier.

c) Le mode de groupement et la grosseur des vaisseaux.

d) Le degré d'obstruction de ces derniers et la nature de la matière incrustante (sels calcaires ou sels minéraux divers, silice, principes huileux ou résineux, etc.).

e) Si le bois est gras ou maigre, ou d'une qualité intermédiaire : sa couleur, son odeur et la nature du grain.

3° On recherchera les vices et tares, dont la nomenclature est donnée au chapitre III.

4° Si le bois est vierge, on recherchera, par une expérience directe, quelle est son aptitude à l'injection.

Si le bois est injecté, on examinera la nature de la préparation antiseptique qu'il a absorbée, et la profondeur de l'absorption.

5° On procédera, comme il est dit au chapitre V, à la détermination de la densité, à l'état sec et à l'état d'imbibition complète, ainsi qu'à celle du pourcentage d'humidité contenue dans l'échantillon considéré.

6° On mesurera, comme il est dit au chapitre V :

a) La résistance à la flexion et le module d'élasticité, sur des éprouvettes carrées de 0 m. 10 de côté et de 1 m. 50 de longueur entre les points d'appui, chargées en leur milieu de poids régulièrement croissants.

L'épreuve portera sur trois éprouvettes au moins à l'état sec, et sur trois éprouvettes à l'état d'imbibition complète.

b) La résistance à la rupture à la flexion sur les mêmes éprouvettes.

c) La résistance à l'écrasement, parallèlement aux fibres, sur des éprouvettes carrées de 0 m. 10 de côté et de 0 m. 15 de hauteur.

Trois éprouvettes seront essayées à l'état sec, et trois à l'état d'imbibition.

d) La résistance à l'écrasement, perpendiculairement aux fibres, sur des éprouvettes de même dimension et de même nombre que précédemment.

e) La résistance à la traction sur des éprouvettes rectangulaires de 0 m. 06 sur 0 m. 02 de section, et de 0 m. 30 de longueur; les têtes, carrées, auront 0 m. 08 de côté et 0 m. 10 de longueur.

f) La résistance au cisaillement, sur des éprouvettes carrées de 0 m. 05 de côté et de 0 m. 20 de longueur, percées près de chacune de leurs extrémités d'une mortaise rectangulaire de 0 m. 026 de largeur, les deux mortaises étant dirigées à angle droit l'une de l'autre. (Appareil Johnson du laboratoire de Saint-Louis.)

g) Quand la destination le comportera, la résistance à l'usure par frottement suivant la méthode usitée au laboratoire de l'École nationale des Ponts et Chaussées.

h) La résistance au choc, et tous autres éléments que l'emploi de la matière pourrait rendre utiles à connaître, qui seront mesurés suivant telles méthodes que l'expérience aura fait juger devoir être recommandées.

Les essais de ce genre, aujourd'hui commencés, ne sont pas encore suffisants pour fournir de données concluantes.

Paris, le 15 avril 1895.

E. BÈS DE BERC.

MÉTHODES D'ESSAI DES BOIS.

CONCLUSIONS

PRÉSENTÉES PAR M. BÈS DE BERC.

I. — CARACTÈRES PHYSIOLOGIQUES ET ESSAIS ORGANOLEPTIQUES.

On relatera, autant que possible, toutes les indications relatives à la provenance, à l'âge et à l'époque de l'abatage des bois, aux conditions dans lesquelles l'arbre a vécu (nature du sol climat, genre de culture, etc.), et, s'il s'agit de petits échantillons, à la partie de l'arbre à laquelle appartient l'échantillon.

On procédera à un examen microscopique de copeaux ou tranches extrêmement minces, prélevés au microtome sur les bois à étudier. Ces copeaux, examinés par transparence, feront ressortir les caractères physiologiques et les propriétés organoleptiques des bois.

On notera spécialement :

a) Le nombre des couches annuelles, depuis le pourtour jusqu'au centre, si on est en possession d'une tranche complète de l'arbre.

Leur épaisseur moyenne et leur disposition régulièrement concentrique ou excentrée.

b) L'épaisseur de l'aubier.

c) Le mode de groupement et la grosseur des vaisseaux.

d) Le degré d'obstruction de ces derniers et la nature de la matière incrustante (sels calcaires ou sels minéraux divers, silice, principes huileux ou résineux, etc.).

e) Si le bois est gras ou maigre, ou d'une qualité intermédiaire : sa couleur, son odeur et la nature du grain.

II. — VICES ET TARES.

On recherchera les vices et tares (pourriture humide ou sèche, grisette et ses variétés, nœuds, cadranures, roulures, gélivures, frottures, lunure ou double aubier, entr'écorces, fibres torses, fentes et gerçures, piqûres de vers, etc.)

III. — APTITUDE À LA CONSERVATION.

Si le bois est vierge, on recherchera, par une expérience directe, quelle est son aptitude à l'injection.

Si le bois est injecté, on examinera la nature de la préparation antiseptique qu'il a absorbée et la profondeur de l'absorption.

IV. — ESSAIS PHYSIQUES.

On procédera suivant les procédés employés pour les pierres, à la détermination de la densité apparente, à l'état sec, et à l'état d'imbibition complète, ce dernier état étant défini par la constance du poids de l'éprouvette imbibée.

(La durée de l'immersion est variable suivant la porosité du bois expérimenté.)

On mesurera également, par les mêmes procédés, le pourcentage d'humidité contenue dans l'échantillon soumis à l'examen, à l'état où il se trouve au moment de sa présentation.

V. — ESSAIS MÉCANIQUES.

A. — *Résistance à la flexion. — Module d'élasticité.*

On mesurera la résistance à la flexion et le module d'élasticité sur des éprouvettes carrées de 0 m. 10 de côté et de 1 m. 50 de longueur entre les points d'appui, chargées en leur milieu de poids régulièrement croissants.

Ces éprouvettes seront débitées à la scie, à vives arêtes, et suivant des faces rigoureusement perpendiculaires deux à deux.

L'orientation des couches annuelles par rapport à la direction de l'effort de flexion devra être soigneusement notée, cette orientation étant de nature à modifier les résultats de l'épreuve.

On devra préserver les fibres de l'éprouvette de toute morsure des couteaux ou pivots qui servent de points d'appui ou de pression, en interposant, entre elles et les couteaux ou pivots, des cales en bois suffisamment épaisses ou des cales métalliques.

L'intensité des charges doit être calculée de telle sorte que le temps total de l'épreuve, arrêtée au moment où cesse la proportionnalité entre les charges et les flèches, n'excède pas 8 à 10 minutes.

L'enregistrement des flèches sera fait au dixième de millimètre.

Le module d'élasticité E sera calculé suivant la formule usuelle

$$E = \frac{L^3}{4\,bh^3}\,\frac{P}{f},$$

où L est la distance entre les points d'appui,
P la charge au milieu,
f la flèche,
b la largeur et h la hauteur de l'éprouvette.

L'épreuve portera sur trois éprouvettes au moins à l'état sec, et sur trois éprouvettes à l'état d'imbibition complète.

On mesurera la résistance à la rupture par flexion, en poussant l'épreuve jusqu'à la rupture, sur les mêmes éprouvettes, et en notant le poids qui aura déterminé la rupture.

B. — *Résistance à l'écrasement.*

On mesurera la résistance à l'écrasement, caractérisée par un commencement de séparation des fibres, parallèlement et perpendiculairement aux fibres, sur des éprouvettes carrées de 0 m. 10 de côté et de 0 m. 15 de hauteur, débitées à la scie de façon que leurs fibres soient bien parallèles aux grandes faces, et rigoureusement perpendiculaires aux petites.

L'épreuve faite parallèlement aux fibres s'exécutera en plaçant les éprouvettes debout entre les deux plateaux d'une presse hydraulique.

L'épreuve faite perpendiculairement aux fibres s'exécutera en plaçant les éprouvettes à plat entre les deux mêmes plateaux.

On notera la charge d'écrasement et la surface portante, dans les deux cas, et on rapportera la résistance au centimètre carré de la surface portante.

Trois éprouvettes au moins seront essayées à l'état sec, et trois à l'état d'imbibition, dans l'une et l'autre épreuve.

C. — *Résistance à la traction.*

On mesurera la résistance à la traction sur des éprouvettes rectangulaires de 0 m. 06 sur 0 m. 02 de section, et de 0 m. 30 de longueur; les têtes, à section carrée, auront 0 m. 08 de côté et 0 m. 10 de longueur.

Ces têtes seront saisies entre les mâchoires d'une machine de traction ordinaire, munies de mordaches à coins pour empêcher le glissement pendant la traction.

Les éprouvettes devront être travaillées de façon à éviter autant que possible de couper les fibres.

On notera la charge de rupture par millimètre carré de la section de la partie utile, avant traction.

L'essai portera, comme les précédents, sur trois éprouvettes au moins à l'état sec, et sur trois éprouvettes à l'état d'imbibition.

D. — *Résistance au cisaillement.*

La résistance au cisaillement sera mesurée, au moyen de l'appareil employé par M. Johnson au laboratoire de Saint-Louis, sur des éprouvettes carrées de 0 m. 05 de côté, et de 0 m. 20 de longueur, percées près de chacune de leurs extrémités d'une mortaise rectangulaire de 0 m. 025 de largeur; chaque mortaise est défoncée par une clavette en fer rectangulaire de même épaisseur, actionnée par une machine à traction.

Les deux joues de chaque mortaise sont maintenues contre l'écartement par une petite crampe à vis dont on règle le serrage au degré juste nécessaire pour sa tenue en place.

Les deux mortaises sont dirigées à angle droit l'une de l'autre, de façon à donner la résistance au cisaillement dans les deux sens perpendiculaires.

On notera la charge sous laquelle chacune des mortaises a été défoncée et on la rapportera à la surface de glissement sur laquelle a porté l'effort.

E. — *Résistance à l'usure par frottement.*

On mesurera la résistance à l'usure par frottement, quand l'emploi des bois le comportera, au moyen de l'appareil utilisé au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées pour mesurer la ésistance des pierres au même genre d'effort. Les éprouvettes, à section rectangulaire, auront

0 m. 06 sur 0 m. 04 de base et 0 m. 12 de hauteur. Elles seront placées deux par deux sur la meule tournante en fonte, saupoudrée d'émeri n° 3, chacune de leurs extrémités portant à tour de rôle sur la surface frottante, sous une charge de 250 grammes par centimètre carré. On notera l'usure après un nombre déterminé de tours de meule.

Deux éprouvettes seront essayées à l'état sec, et deux à l'état d'imbibition complète.

F. — *Résistance au choc et autres essais mécaniques.*

L'essai de résistance au choc et divers autres essais mécaniques que l'emploi des bois pourrait rendre nécessaires n'ont pas été jusqu'à ce jour l'objet d'expériences suffisamment prolongées pour qu'il soit possible d'en fixer les règles.

Il est à souhaiter que ces expériences soient poursuivies dans les divers laboratoires.

Paris, le 15 avril 1895.

E. BÈS DE BERC.

CONSTITUTION ANATOMIQUE DU BOIS.

ÉTUDE

PRÉSENTÉE PAR M. ANDRÉ THIL,

INSPECTEUR DES EAUX ET FORÊTS.

INTRODUCTION.

Le bois est une agglomération de cellules agglutinées les unes aux autres par une matière extra-cellulaire qui remplit plus ou moins complètement l'intervalle intercellulaire.

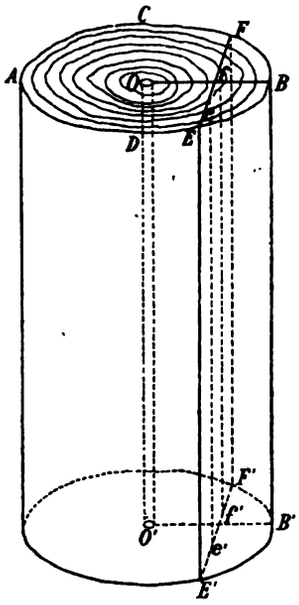
Ces cellules sont différenciées suivant les rôles physiologiques qu'elles ont à remplir. Leur distribution dans le tissu varie avec les classes, familles, genres et espèces botaniques, et elle donne des valeurs techniques différentes à chaque espèce. Il est donc intéressant de les étudier.

Si l'on veut analyser les différents éléments d'une tige ou d'un bois, il est nécessaire de l'examiner sous trois aspects distincts :

1° Une section transversale ou suivant un plan perpendiculaire à l'axe de la tige, soit ACBD;

2° Une section tangentielle ou suivant un plan tangent à la circonférence des accroissements annuels, soit EE'F'F, localisée dans la partie où ce plan et la surface cylindrique sont très rapprochés l'un de l'autre *ee'f'f*;

3° Une section radiale ou suivant un plan passant par l'axe et un rayon perpendiculaire allant de l'axe à la périphérie de la tige, soit OO'B'B.



Les sections transversales et tangentielles s'obtiennent facilement dans la pratique, car une légère déviation dans la direction modifie peu les aspects; mais les sections radiales sont plus difficiles à obtenir en raison des courbes et sinuosités naturelles qui existent très souvent dans la disposition radiale des tissus. Il faut alors faire un très grand nombre de sections pour en obtenir quelques-unes qui soient bonnes pour une étude précise.

Si l'examen doit être rapidement exécuté, et si l'on possède déjà des matériaux de comparaison, les sections peuvent être préparées avec une scie très fine, dont le trait est ensuite poli avec soin au papier de verre. Si, au contraire, on peut prendre son temps, ou si l'étude est faite pour la première fois, il est nécessaire de détacher de l'échantillon, à l'aide d'un bon rabot et de préférence d'un microtome spécial, des sections microscopiques d'une épaisseur variant d'un trentième à un centième de millimètre, suivant les dimensions des éléments constitutifs du bois que l'on veut étudier.

Le premier fait qui frappe lors de l'examen de ces sections, est l'orientation double des groupes des cellules.

La *moelle*, tissu primordial de toute la tige, forme avec le *bois primaire* un faisceau central, très mince, allongé d'une extrémité à l'autre de la bille ou *tronce* à utiliser comme bois d'œuvre. Elle est l'axe physiologique autour duquel toutes les zones successives d'accroissement sont venues se placer d'une façon plus ou moins régulière, suivant les conditions diverses de nutrition ou d'élaboration de la sève par lesquelles le végétal est passé pendant son existence.

Cet axe de croissance émet perpendiculairement à lui-même des petits groupes de cellules allongées dans le même sens, appelés *rayons médullaires*. Ces rayons s'étendent de la moelle à l'intérieur de l'écorce; puis, au fur et à mesure que la tige grossit par suite de l'addition à son pourtour de nouvelles cellules, de nouveaux rayons naissent dans l'épaisseur des nouvelles couches formées, s'intercalent entre les précédents et s'étendent comme eux jusqu'à l'intérieur de l'écorce. Les rayons médullaires primordiaux étant situés sur des spirales régulières tout autour de la moelle, l'ensemble des rayons est aussi placé tout autour de la tige sur des spirales plus ou moins faciles à discerner et dont l'inclinaison par rapport au plan perpendiculaire à la moelle varie avec les espèces.

Le tissu remplissant l'intervalle entre ces rayons est, au contraire, composé de cellules allongées parallèlement à l'axe de croissance.

Toute zone d'accroissement est donc constituée par deux systèmes de cellules plus ou moins allongées, dont les longueurs sont perpendiculaires l'une à l'autre.

Si l'on continue l'examen à l'aide du microscope, on remarque que toutes les cellules comprises dans ces deux systèmes perpendiculaires peuvent se diviser en trois sortes au point de vue technique :

1° Les *fibres* qui forment l'ossature résistante de la tige et la soutiennent, lorsque la turgescence séveuse a cessé de gonfler les tissus;

2° Les *cellules vasculaires* ou *vaisseaux* conduisant au travers du corps végétal les solutions aqueuses diverses puisées dans le sol et nécessaires pour assurer la croissance ;

3° Les *cellules parenchymateuses* ou *parenchyme* servant de magasin de réserve, de local d'élaboration ou de triage pour les divers principes végétaux existant dans la plante.

Dans certaines espèces, il se produit des combinaisons deux à deux de ces trois sortes de cellules, de sorte que l'on en rencontre dans certains bois qui tiennent à la fois du parenchyme et des vaisseaux ou du parenchyme et de la fibre. Chez les conifères, il se produit une simplification du tissu dans les accroissements annuels ou *bois secondaire* postérieurs au premier accroissement ou *bois primaire*; cette simplification commence même à se produire dans ce bois primaire. Les fibres se combinent avec les vaisseaux et forment une cellule mixte caractéristique appelée *trachéides* ou *fibres aréolées*.

Cette simplification entraîne une telle modification du tissu, qu'il est bon de diviser l'étude anatomique qui va suivre en deux parties distinctes :

1° *Conifères* ou *bois résineux* appartenant à la classe botanique des *gymnospermes;*

2° *Bois feuillus* appartenant à la classe botanique des *angiospermes dicotylédonés*.

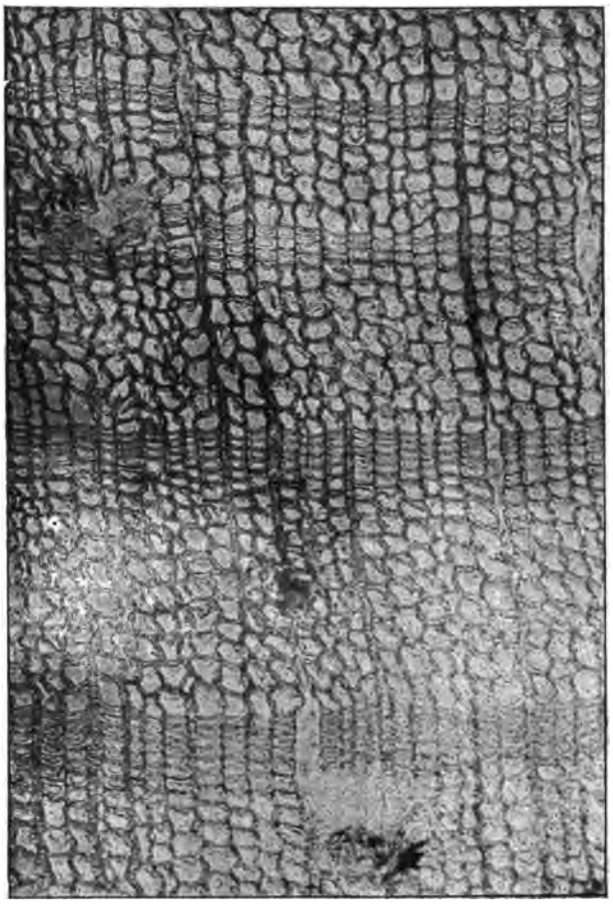
Les espèces végétales comprises dans les autres classes botaniques ne donnent pas de bois proprement dit, c'est-à-dire une matière pouvant être sciée en planches ou équarrie en poutres de dimensions variables. Elles seront laissées de côté dans cette étude, bien que quelques-unes fournissent des matériaux de construction importants dans certaines régions, le bambou, par exemple, en Asie, et certaines tiges de palmier ou de fougère en Afrique et en Océanie.

CONIFÈRES OU GYMNOSPERMES.

Étude anatomique des cellules.

L'examen à la loupe d'une section transversale de bois résineux a un aspect muriforme caractéristique qui devient encore plus apparent au microscope. Cet aspect tient à ce que la presque totalité de ces tissus est formée de files radiales régulières de cellules de même nature et à peu près de même grosseur, lorsqu'elles sont à une même distance du bord d'un accroissement annuel. Ces cellules sont connues sous le nom de *trachéides* ou *fibres aréolées*.

De place en place, des cellules allongées radialement les unes au bout des autres courent parallèlement à ces files et s'étendent jusqu'à l'écorce; elles constituent la portion du bois nommée *rayons médullaires*.



PIN MARITIME.
(Section transversale grossie, de 70 diamètres.)

Çà et là, suivant les espèces, on remarque soit des cellules isolées à parois plus minces (genévrier), soit des groupes de cellules (cèdre) contenant des essences et résines; dans certains genres botaniques, le centre des groupes a été résorbé ou est ouvert, laissant un petit méat plus ou moins rempli d'essence ou de résine et connu sous le nom de *canal résinifère*. Ces cellules isolées ou groupées constituent le seul parenchyme ligneux existant dans le bois secondaire.

Les accroissements annuels sont constitués exclusivement par ces trois éléments; ils entourent l'axe central de la tige ou moelle et le bois primaire formés par de grandes cellules mélangées de quelques vaisseaux.

Enfin le tout est aggloméré par la *matière intercellulaire* ou *conjonctive*.

Chacune de ces parties va être étudiée séparément.

Trachéides ou fibres aréolées.

La trachéide ou fibre aréolée est une cellule fusiforme allongée parallèlement à l'axe de la tige. La section transversale est plus ou moins rectangulaire ou polygonale avec les angles ar-

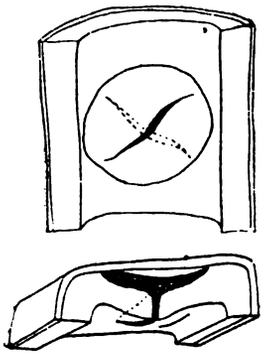
CYPRÈS PYRAMIDAL.
(Section radiale, 70 diamètres.)

PIN MARITIME.
(Section radiale, 70 diamètres.)

rondis, quelquefois même circulaire. La section de son *lumen* est d'autant plus étroite et arrondie que la paroi est plus épaisse.

La longueur et la grosseur de ces cellules varient avec les espèces.

Les faces radiales par rapport à l'axe de croissance, et quelquefois les autres, sont garnies de ponctuations aréolées visibles au microscope sous forme de petites lentilles plus ou moins nombreuses, percées au centre d'un petit trou ou ponctuation proprement dite, ovale ou rond, qui se rétrécit et s'allonge généralement dans une direction oblique à l'axe de la trachéide et suivant une spirale, lorsque la paroi devient plus épaisse. Par suite de la transparence, les ponctuations voisines dans deux trachéides semblent alors former une croix de Saint-André.



Ponctuation en croix.

Dans certaines espèces, cette ponctuation arrive même à ne former qu'une fente excessivement fine dans les trachéides les plus épaisses.

La grandeur et la forme de l'aréole varient avec les espèces et peut permettre d'en discerner quelques-unes par suite de détails spéciaux existant dans leur structure.

Les ponctuations aréolées sont placées en face l'une de l'autre dans deux trachéides en contact; elles facilitent la circulation des liquides au travers des parois.

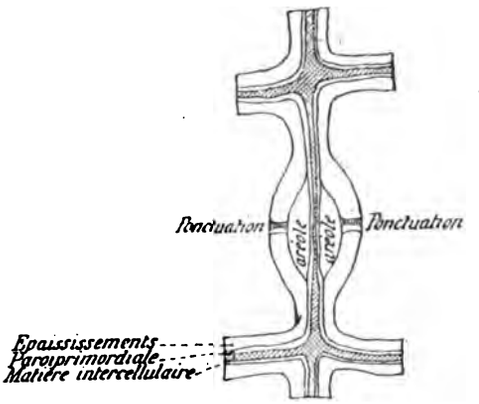
Lorsque la cellule est jeune, on peut encore reconnaître une paroi au milieu du vide en forme de lentille constitué par les lèvres de l'aréole: mais dans les bois sechés pour la

mise en œuvre, on ne la retrouve que très difficilement, soit qu'elle soit trop friable et se brise au moment où l'on tranche les sections minces destinées à l'étude, soit qu'elle disparaisse par suite de la dessiccation des tissus qui se produit après l'abatage de l'arbre.

L'épaisseur de la paroi des trachéides augmente plus ou moins suivant les espèces, au fur et à mesure que la période annuelle de végétation s'écoule. Si l'on suit une ligne tracée du centre à la périphérie de l'arbre, on voit donc ce fait se renouveler autant de fois qu'il y a eu de périodes de végétation. Dans certains pins et sapins, l'épaississement des parois formées à l'extrémité du bois produit pendant l'automne peut atteindre quatre, cinq et six fois l'épaisseur des parois formées au printemps; aussi distingue-t-on généralement dans les bois résineux le tissu en deux parties nommées :

1° *Bois de printemps* ou tissu mou;

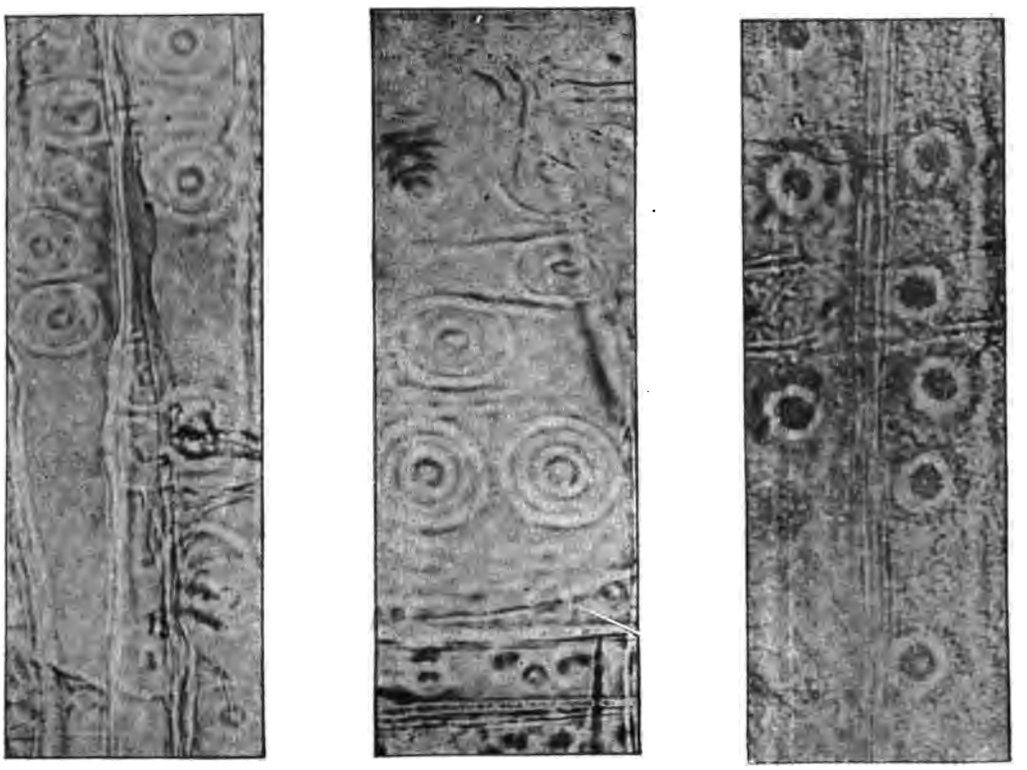
2° *Bois d'automne* ou tissu compacte.



Section montrant la correspondance des ponctuations.

Cet épaississement se produit suivant les espèces plus ou moins hâtivement, plus ou moins progressivement ou lentement. Il constitue un des éléments de résistance les plus importants des bois résineux.

Dans le plus grand nombre d'espèces, l'épaississement se fait assez régulièrement, et c'est à peine si l'on remarque sur la membrane quelques ondulations obliques.



PIN MARITIME. (430 diamètres.) MÉLÈZE. (590 diamètres.) (*Trachéides de printemps.*) GENÉVRIER THURIFÈRE. (590 diamètres.)

ÉPAISSISSEMENTS DIVERS DES TRACHÉIDES.

Mais, dans d'autres, il n'en est pas de même; la surface épaissie est chagrinée (genévrier thurifère), ou bien striée en spirales (mélèze des Alpes). Enfin, dans l'if, on remarque des cordons en saillie dans le lumen, dont l'épaisseur assez grande forme des spirales bien visibles, plus ou moins rapprochées les unes des autres. Ces épaississements spécifiques augmentent la

force de résistance des trachéides qui sont l'élément principal de force et de ténacité des bois résineux.

MÉLÈZE. 590 diamètres.)

IF. (430 diamètres.)

(*Trachéides d'automne.*)

ÉPAISSISSEMENT DES TRACHÉIDES. (*Suite.*)

La section transversale des rangs extrêmes de trachéides d'un accroissement annuel est généralement aplatie dans le sens radial, et forme une zone très dense dans laquelle on voit les ponctuations aréolées quitter les faces radiales trop étroites pour les contenir et se reporter sur les faces

SAPIN PECTINÉ (à grains grossiers).
(60 diamètres.)

GENÉVRIER COMMUN (à grains fins).
(60 diamètres.)

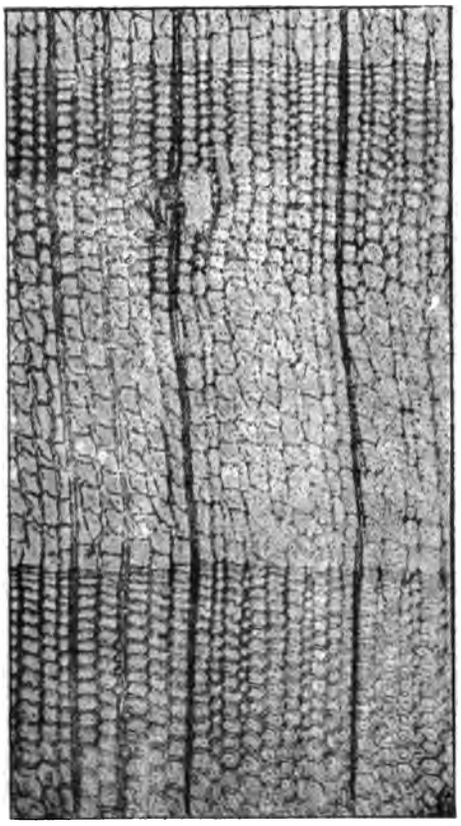
tangentielles. Cette zone est réduite dans les genévriers à un ou deux rangs de cellules; mais, dans d'autres espèces, elle peut être plus large; elle permet en tout état de cause de reconnaître la limite des divers accroissements.

La longueur et la rectitude des trachéides est remarquable dans beaucoup de bois résineux; elles les rendent propres plus particulièrement à certains emplois spéciaux et facilitent la résistance à la compression par les forces parallèles à la moelle; elles permettent aussi de mettre en œuvre facilement beaucoup d'entre eux au moyen de la fente pour produire des douves, des lattes, des bardeaux, etc.

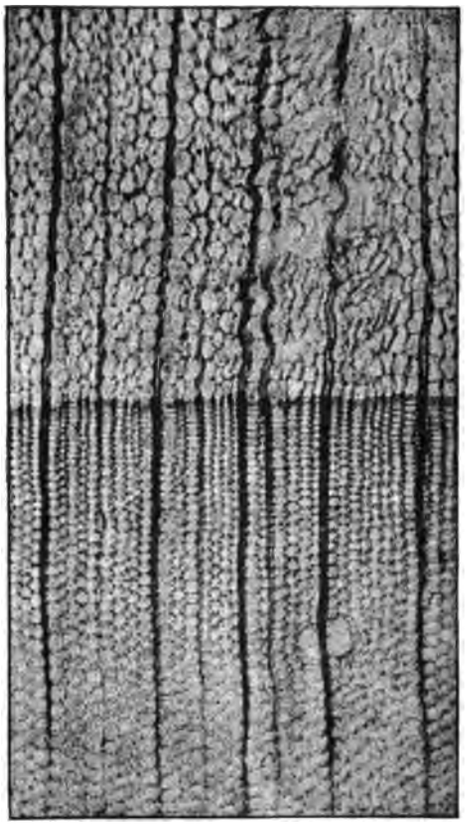
La grosseur des trachéides a de l'influence sur la qualité du tissu. Si elles sont grosses, le bois est dit à grain grossier, comme le sapin, le pin *weymouth;* le bois de printemps, dont les cellules ont des parois peu épaissies et par suite de grands lumens, devient beaucoup plus mou que le bois d'automne, et le tissu est des moins homogènes.

Si, au contraire, les trachéides sont minces comme dans certains genévriers, le bois a le grain fin et prend un bel aspect par le rabotage et le polissage; de plus, les lumens du bois de printemps sont plus petits, le tissu devient plus dense et a une tendance à devenir plus homogène.

La résistance d'une espèce est d'autant plus grande que le bois d'automne est plus large, d'après ce qui vient d'être dit; or il se produit dans une espèce déterminée un fait qu'il importe au plus haut point de signaler, la largeur du bois d'automne varie beaucoup moins que celle du bois de printemps formé au commencement de la saison. Si donc, pour une cause quelconque, les tissus formés sur une épaisseur égale prise dans deux échantillons donnés contiennent des nombres d'accroissement différents, celui sur lequel on en comptera le plus sera aussi celui qui contiendra le plus de bois d'automne ou de parties résistantes. Il en résulte, en thèse générale, qu'un bois résineux à croissance lente est plus résistant et plus estimé que celui à croissance rapide.



Mélèze des Alpes (croissance lente). (70 diamètres.)

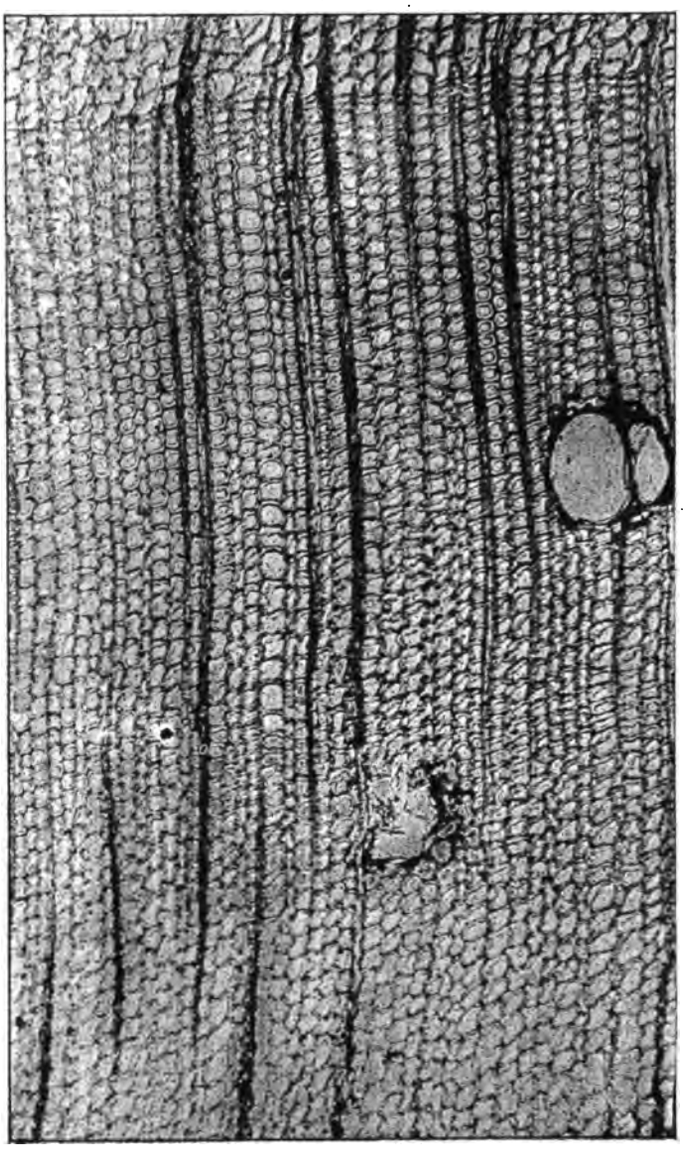


Mélèze des plaines de Bourgogne (croissance rapide). (70 diamètres.)

Le fait est très remarquable pour l'épicéa et le mélèze qui donnent en France des qualités de bois absolument différentes, suivant qu'ils ont crû lentement dans les Alpes, ou rapidement dans les plaines basses.

Dans quelques bois résineux, on remarque dans certains accroissements annuels des zones successives complètes ou partielles de bois d'automne. Cet état de choses, que l'on peut considérer comme une exception, tient à des reprises plus actives de la végétation pendant l'été; il est occasionné par des périodes pluvieuses. Le pin maritime donne un exemple fréquent de ces zones qui sont plutôt favorables à la résistance des tissus.

On reproche souvent aux bois résineux, en raison de ces différences dans la constitution des trachéides, leur manque d'homogénéité. Ils sont, en effet, constitués par une série d'enveloppes cylindriques élaborées chaque année par la sève, exactement appliquées les unes sur les autres et formées parallèlement à l'axe de croissance d'une série de trachéides dont la résistance augmente dans la proportion de leur épaississement en allant de l'intérieur à l'extérieur. Mais cette

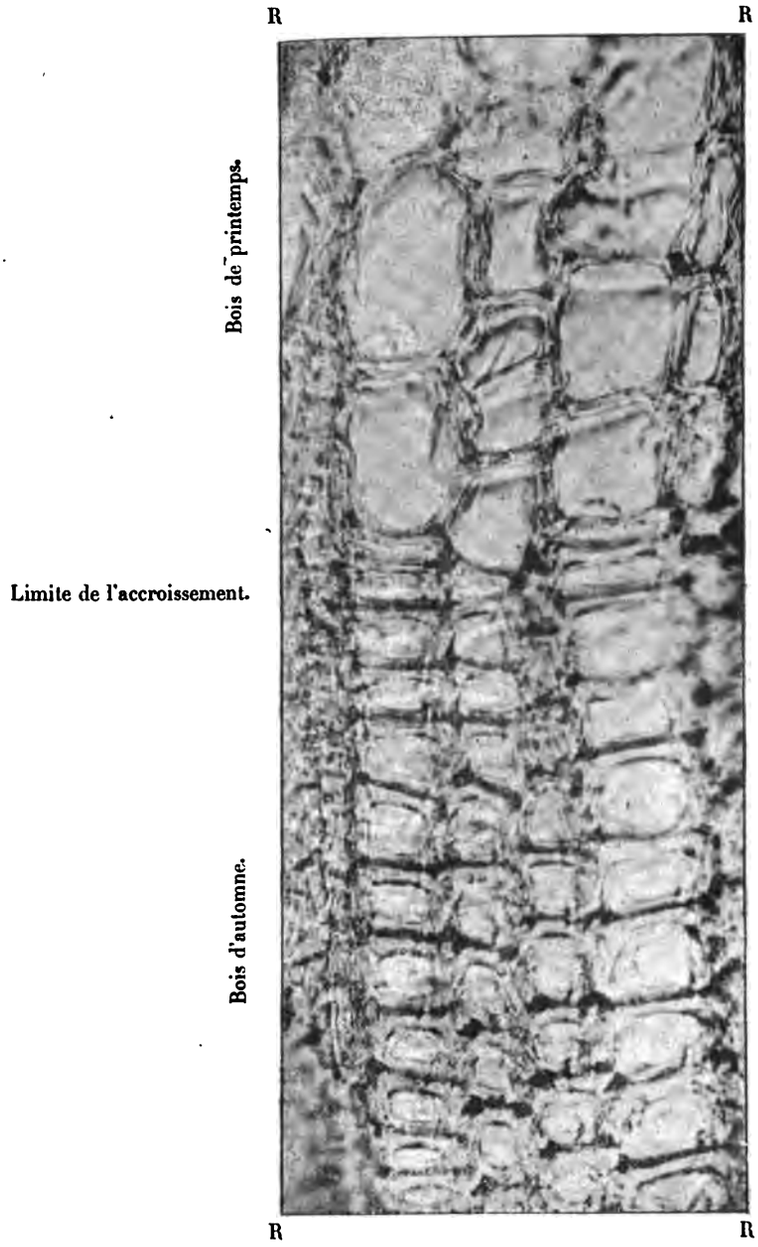


Pin maritime (section transversale, 70 diamètres).

texture leur donne à la fois une rigidité et une souplesse qui les font rechercher pour la mâture et la charpente. Il ne faut pas cependant que cette différence dans l'épaississement se produise trop brusquement, ou que le bois mou de printemps soit trop large; car, alors, les couches d'automne insuffisamment soutenues s'affaisseraient sur le bois de printemps ou même s'en détacheraient, et la pièce employée se partagerait en feuillets cylindriques. Cet accident arrive souvent pour les bois résineux à croissance trop rapide.

L'ensemble de ces enveloppes cylindriques est traversé par les rayons médullaires, de sorte que l'on peut aussi considérer l'ensemble de toutes les trachéides comme formant des lames radiales ou secteurs s'étendant dans les tiges suivant des plans rayonnants tout autour de la tige. Ces secteurs sont, dans chaque espèce, composés du même nombre de trachéides; ils sont en partie contigus les uns aux autres et en partie séparés de distance en distance par les rayons qui forcent les trachéïdes voisines à s'incurver légèrement pour leur laisser une place suffisante; comme les rayons sont généralement étroits, la déviation est faible. La rectitude du tissu est aussi à peine modifiée par un embranchement très régulier et peu abondant, de sorte que les

tiges produites sont très droites. Ce fait donne une grande valeur aux bois de pin, sapin, épicéa, mélèze comme piles ou poteaux de soutien.



PIN MARITIME. (Section transversale de partie d'un secteur, 430 diamètres.)
R, rayons médullaires encadrant un secteur.

Rayons médullaires.

Après les trachéides, les rayons médullaires ou parenchyme radial sont l'élément le plus important du bois des conifères. Certains d'entre eux ne comprennent même que ces deux éléments dans le bois secondaire, ou, comme certains sapins, ne laissent apercevoir d'autres sortes de cellules qu'à la suite des recherches les plus minutieuses.

Les rayons médullaires apparaissent sur une section tangentielle comme un groupe fusiforme en général, et le plus souvent d'un seul rang de cellules à sections arrondies disposées les unes au-dessus des autres.

Ces groupes contiennent plus ou moins de cellules suivant les espèces. Ils sont répartis à peu près également dans la tige, laissant entre eux un même nombre de trachéides.

Ils sont disposés, comme il a déjà été dit, sur des spirales régulières tout autour de la moelle du bois primaire; lorsque l'accroissement en diamètre progresse, le nombre des trachéides augmente sur le cylindre de croissance ou *cambium* qui enveloppe la tige, et de nouveaux rayons médullaires viennent s'intercaler dans le tissu d'où ils s'étendent jusqu'à l'écorce

suivant la même direction radiale que les premiers. Les nouveaux rayons médullaires venus maintiennent ainsi la même proportion entre eux et les trachéides dans les nouvelles enveloppes cylindriques engendrées par le cambium qui constituent les accroissements successifs.

CALLITRIS QUADRIVALVE, OU THUYA.
(Section tangentielle, 70 diamètres.)

SAPIN PINSAPO.
(Section radiale, 70 diamètres.)

Les cellules de ces groupes, plus ou moins allongées dans le sens radial, forment des files contiguës perpendiculaires à l'axe de croissance. Celles d'un même rang du groupe constituent ainsi une sorte de petit cylindre perpendiculaire audit axe, dans lequel l'on distingue chaque élément séparé de ses voisins par des cloisons perpendiculaires obliques ou courbes.

Ces cellules peuvent être de trois natures différentes se rattachant toutes au parenchyme :

1° Les cellules extrêmes à parois minces dont la section transversale varie de l'ovale au triangle et dont les sections radiales laissent apparaître tantôt des parois parallèles dans le sens radial reliées par d'autres, perpendiculaires, obliques ou courbes, tantôt, au contraire, la section radiale proprement dite est des plus irrégulières, de manière à s'adapter le mieux possible aux sinuosités des secteurs de trachéides qui s'écartent pour laisser la place nécessaire au développement du rayon médullaire.

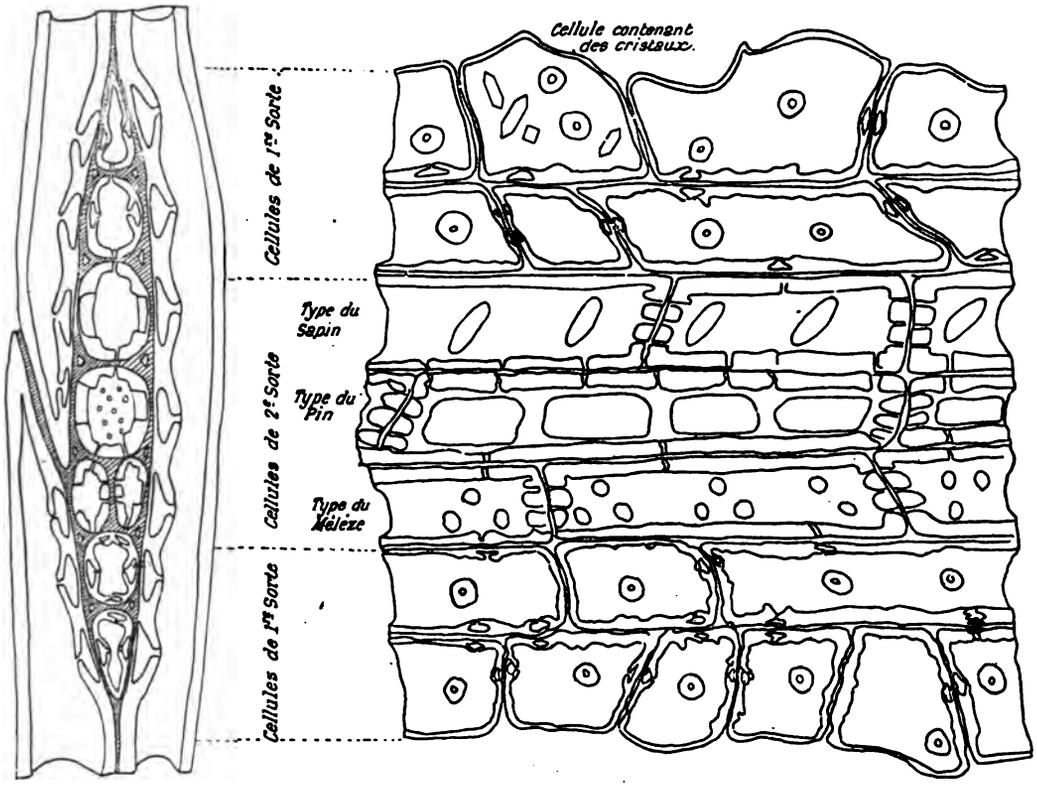
Les parois sont garnies de très petites ponctuations souvent aréolées, surtout dans les contacts avec les trachéides; leur épaississement est toujours faible et très irrégulier. Le lumen contient des cristaux et des concrétions diverses.

Dans quelques espèces, on rencontre des rangs de cellules de ce genre intercalés au milieu des suivantes, ou simplement quelques-unes d'elles interposées dans une file; dans ce dernier cas, elles deviennent presque cubiques, et la totalité de la cavité est remplie par une concrétion ou un cristal.

Cette première sorte constitue quelquefois à elle seule les très petits rayons hauts de 1 à 4 ou 5 cellules; elle peut aussi ne pas exister dans certains genres ou espèces;

2° La plus grande partie des rayons médullaires est composée par des cellules appelées par les botanistes *cellules à amidon*; leurs parois sont minces aussi, mais cependant un peu plus épaisses que celles des précédentes; cette épaisseur, contrairement à ce qui arrive pour les trachéides, varie peu ou pas d'une extrémité de l'accroissement à l'autre. Leurs sections transversales sont ovales, rondes ou rectangulaires, arrondies aux angles; leurs sections radiales laissent apercevoir deux parois parallèles reliées par des parois perpendiculaires obliques ou quelquefois courbes. La course de ces cellules entre les trachéides est droite, quelquefois un peu sinueuse ou ondulée, et même, dans certains genres, assez fortement déviée par les canaux résinifères.

Les ponctuations des contacts réciproques de ces cellules sont petites et l'épaississement un peu augmenté autour d'elles; celles des faces latérales touchant aux trachéides sont, au contraire, beaucoup plus grandes, couvrant parfois tout le contact et laissant ainsi à nu sur des



Section tangentielle. Section radiale.

TYPE DE RAYON MÉDULLAIRE (environ 300 diamètres).

surfaces relativement grandes la paroi primordiale, sur lesquelles les épaississements ne sont pas venus se former lors du développement du végétal. La forme de ces ponctuations varie, de plus, avec les espèces, comme on peut le voir par le schéma donné ci-dessus.

Les lumens de ces cellules ne contiennent plus d'amidon dans le bois d'œuvre, si ce n'est dans l'aubier et certaines parties où la lignification a été arrêtée par un accident quelconque. Cette matière destinée à la nutrition des tissus en croissance a disparu; elle peut être remplacée par des concrétions diverses, des résines, des huiles diverses abandonnées par la sève.

Cette deuxième sorte de cellules existe toujours dans les rayons médullaires et constitue la portion la plus résistante de cette partie du tissu;

PIN LARICIO DE CORSE.
(Section radiale, 70 diamètres.)

3° Enfin, dans quelques genres ou espèces, on aperçoit au milieu de certains rayons médullaires une partie faisant saillie sur les flancs d'une section transversale. Cet élargissement local est formé par un amas de cellules irrégulières dont les parois très fines, à peine ponctuées, sont souvent partiellement résorbées de manière à laisser un méat plus ou moins grand. Ces cellules et ce méat sont plus ou moins remplis de résine ou d'huiles essentielles; ils forment les *canaux résinifères* radiaux. Quelquefois les cellules de ces canaux sont complètement ou partiellement détachées les unes des autres ou du tissu voisin et flottent à l'intérieur du méat en mélange avec les résines ou les huiles produites. Cette dissociation se produit progressivement, comme on peut s'en convaincre en étudiant un canal déterminé depuis la périphérie de la tige jusqu'à la moelle.

Au point de vue de la résistance, ces cellules constituent dans le tissu une partie faible sur laquelle les affaissements ou les déchirements peuvent facilement se produire.

Les rayons médullaires ont un rôle qui peut avoir sa valeur dans les études relatives à la

Mélèze.
(Section tangentielle, 70 diamètres.)

Schéma du rétrécissement d'une fibre.
Trait plein, fibre avant la dessiccation.
Trait pointillé, fibre après la dessiccation.

résistance. Ils forment des chevilles radiales perpendiculaires à l'axe de croissance, qui soutiennent d'autant mieux le tissu dans ce sens que les parois de leurs éléments sont plus solides et plus intimement adhérentes aux trachéides; cette adhérence est quelquefois augmentée par les sinuosités de leurs parois radiales. Ils s'opposent au rétrécissement radial des bois lors de la dessiccation; aussi ce rétrécissement a-t-il toujours été reconnu inférieur au retrait circonférentiel. Dans ce dernier sens, il n'existe aucun entrecroisement de cellules; on comprend donc facilement que la *cellulose* des parois, matière assez plastique, se contracte plus dans le sens A B que dans le sens A C, du moment où le rayon A C la soutient dans ce même sens. Il conviendrait d'ajouter, puisque nous sommes amené à parler des rétrécissements, que, les épaississements se constituant en spirale plus ou moins allongée sur la paroi primordiale de chaque cellule, le retrait de ce tissu spiralé et élastique plus ou moins retenu à ses extrémités se fait surtout sur le diamètre de la cellule. Cette proposition est corroborée par ce fait, que le retrait du bois dans le sens de la longueur de la tige est très peu sensible.

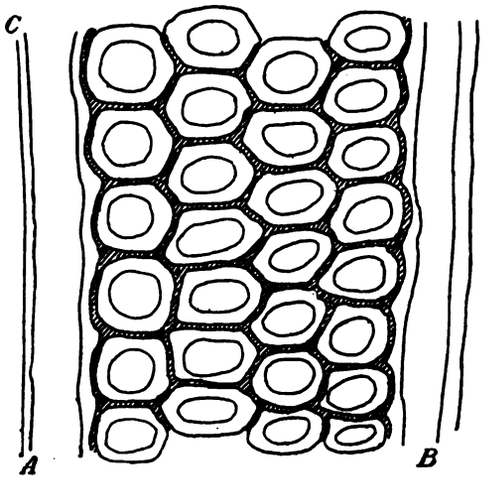
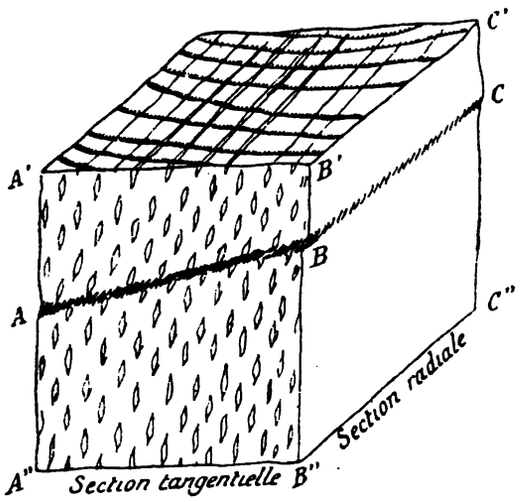


Schéma d'une section transversale soumise au retrait, lors de la dessiccation.

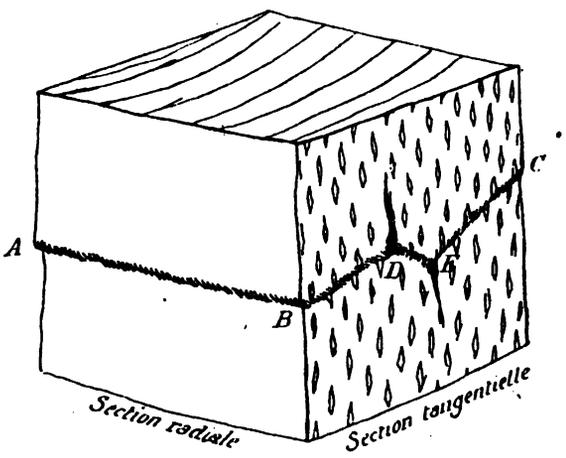
Les flancs des rayons médullaires produisent quelquefois des plans de moindre résistance d'autant plus grands, que le rayon a plus de hauteur; on constate alors que le bois se fend facilement dans ce sens et d'autant mieux que

ces plans se trouvent plus rapprochés les uns des autres. Ce caractère du tissu, joint à la rectitude de la trachéide dont il a été parlé plus haut, permet de fendre en lames minces et régulières le bois du sapin, de l'épicéa, du mélèze destinés à la confection des tables d'harmonie, des bardeaux, des lattes, etc.

Les rayons médullaires séparent partiellement les secteurs de trachéides; ils dévient plus ou moins de leur direction parallèle à la moelle celles de ces cellules qui les avoisinent. A chaque rencontre, ces cellules se courbent les unes à droite, les autres à gauche, pour laisser la place au rayon, puis se rapprochent en dessous de lui. Si une force vient agir parallèlement à l'axe de



1re forme de rupture.

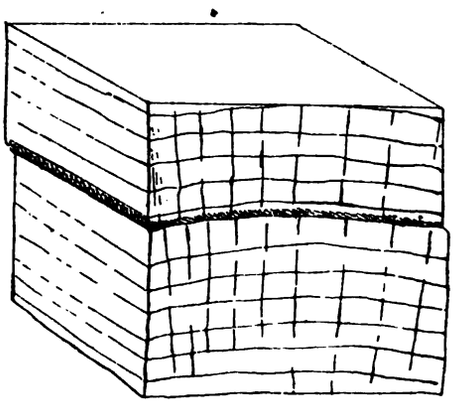


2e forme de rupture.

Compression parallèle à l'axe de croissance.

croissance, ces trachéides déjà courbées sont d'autant plus disposées à se déplacer, que les cellules extrêmes des rayons médullaires sont pourvues de faibles parois faciles à comprimer. C'est pour cette raison que, dans la série d'éprouvettes à la compression en bout parallèle à l'axe de croissance que nous avons examinées au Laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, toutes les ruptures obtenues se sont produites suivant des plans obliques disposés de la façon ci-dessus indiquée.

Si l'on considère la section radiale de la tige B' C' B" C", le plan de rupture passe à peu près droit en B C suivant un rayon médullaire; tandis que si l'on considère la section tangentielle A' B' A" B", la direction A B du plan de rupture est oblique, mais d'une obliquité variable avec les espèces et déterminée par l'inclinaison des spirales sur lesquelles les rayons médullaires sont distribués dans la tige.



Compression perpendiculaire à l'axe de croissance.
Forme de rupture.

La rupture peut se produire aussi suivant des plans inclinés, tantôt dans un sens B D, tantôt dans l'autre D E; la rencontre des plans forme ainsi des sortes de coins qui accentuent la rupture en fendant les parties inférieures dans le sens radial. Ces plans de rupture semblent ainsi avoir une relation intime avec l'inclinaison des spirales sur lesquelles les rayons sont disposés tout autour de la moelle.

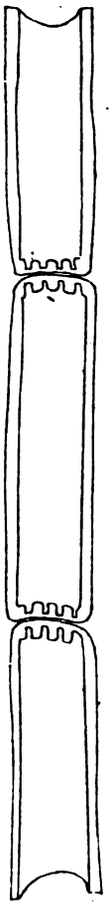
Si la force agit perpendiculairement à la direction de l'axe de croissance, on ne constate plus de brisure oblique, mais un simple affaissement du bois d'automne sur le tissu du bois de prin-

temps le plus large ou le plus faible; les rayons à cellules peu épaissies ne sont pas assez résistants pour soutenir la charge et s'affaissent avec le tissu voisin.

Parenchyme ligneux.

Si l'on examine avec soin les diverses sections de certains arbres résineux, on y remarque des cellules à parois plus minces mélangées aux trachéides et allongées comme elles parallèlement à la moelle. Ces cellules sont dépourvues de ponctuations aréolées; leurs ponctuations sont simples ou même manquent totalement dans certaines parties.

GENÉVRIER THURIFÈRE.
(Cellules résiniferes, 70 diamètres.)

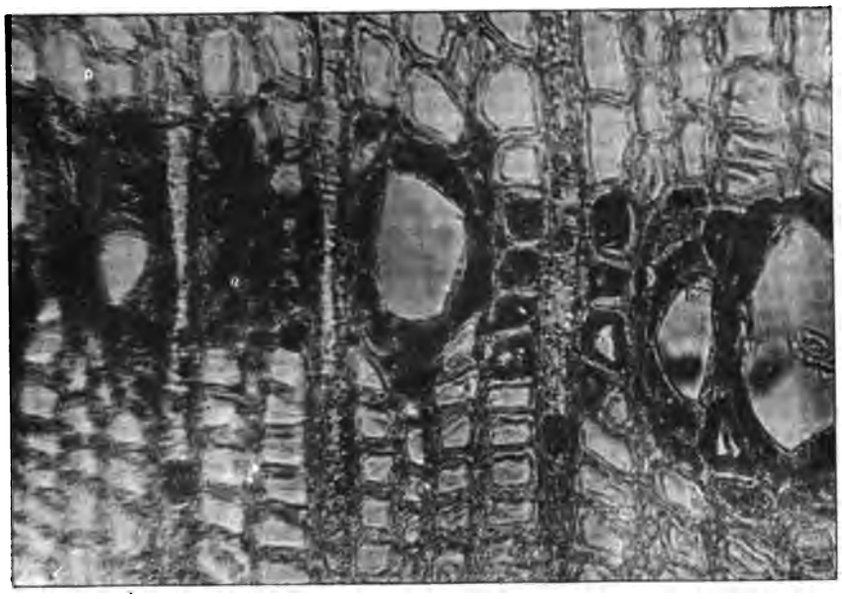


GENÉVRIER THURIFÈRE.
(Cellules résinifères, 300 diamètres.)

Leurs extrémités ne sont plus fusiformes, leur longueur est moins grande que celles de leurs voisines. Elles forment parallèlement à la moelle des files longitudinales, dans lesquelles elles sont séparées les unes des autres par des parois perpendiculaires le plus souvent, quelquefois obliques à la direction de la file; ces parois sont pourvues de nombreuses ponctuations simples. Ces cellules portent le nom de parenchyme ligneux vertical, et plus spécialement dans cette classe de végétaux, de *cellules résinifères*, en raison des dépôts de térébenthine et de résine qu'elles renferment; elles sont très rares dans certaines espèces, comme le sapin pectiné où elles sont localisées et dispersées sur la limite des accroissements annuels, mais elles deviennent plus nombreuses dans les genévriers où elles sont dispersées dans la partie moyenne ou vers le bord externe de l'accroissement annuel. Dans le sapin pinsapo et le cèdre, elles se rapprochent en groupes de hauteur variable, très allongés dans le sens de la périphérie de la tige et très irrégulièrement dispersés sur la limite des accroissements.

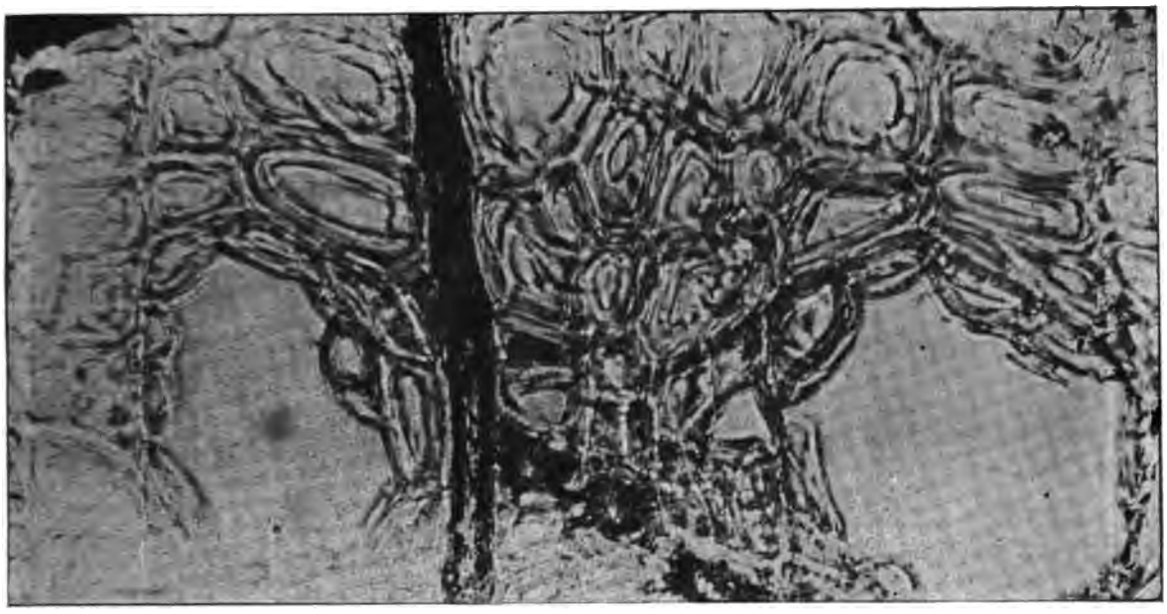
Chez les pins, les épicéas, les mélèzes, elles sont réunies en petits groupes arrondis ou irrégu-

liers plus ou moins nombreux et disséminés d'ordinaire dans la zone moyenne ou dans le bois d'automne. Ces groupes s'étendent parallèlement à la moelle sur une grande hauteur; pour cette



SAPIN PINSAPO. Groupe de cellules résinifères (430 diamètres).

raison, ils ont reçu le nom de canaux résinifères, justifié encore par le méat central plus ou moins rempli de résine et de térébenthine que l'on y aperçoit.



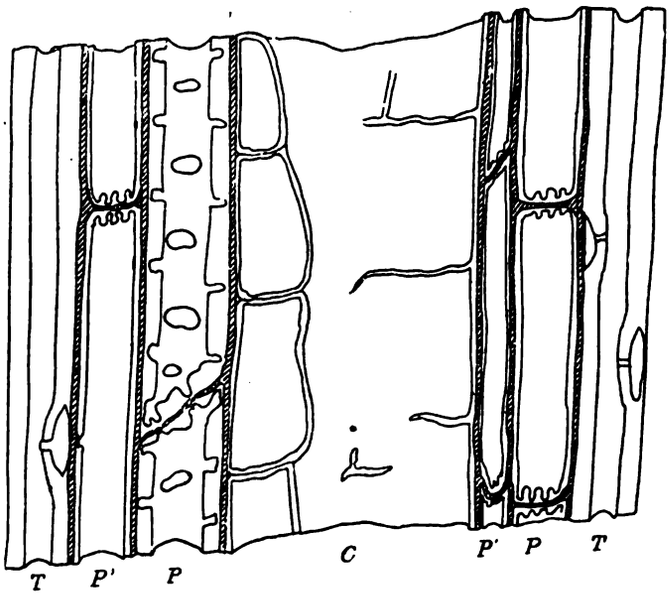
MÉLÈZE. Canaux résinifères (430 diamètres).

Les cellules de ces groupes sont plus ou moins différenciées suivant les espèces. Celles du pour tour ont conservé leurs formes, puis elles s'écrasent de plus en plus sous l'action de la pression venant du méat gonflé de résine et d'huiles essentielles ou autres. Elles ont des sections transversales ovales ou polygonales arrondies. Les sections longitudinales montrent deux parois parallèles, reliées par d'autres obliques, droites ou courbes. Ces formes s'écrasent dans le voisinage du méat, et les parois perpendiculaires à la direction du canal sont alors froissées ou repliées à l'intérieur du lumen. Souvent les parois des cellules bordant le méat sont partiellement résorbées, quelquefois ont complètement disparu ou bien sont dissociées et flottent dans le canal.

Les parois qui subsistent et forment le pourtour du méat sont parsemées dans certaines espèces de petites ampoules irrégulières contenant des résines et des huiles. Ces ampoules sont percées d'un petit trou, de sorte qu'elles rappellent les ponctuations aréolées, mais elles en diffèrent par l'excentricité constante de la position de ce petit trou.

PIN MARITIME. Section transversale de canaux résinifères (430 diamètres).

Dans les derniers accroissements formés à la périphérie de la tige, le canal ou les cellules ponctuées qui l'entourent, contiennent des résines et huiles, mais les cellules lisses renferment

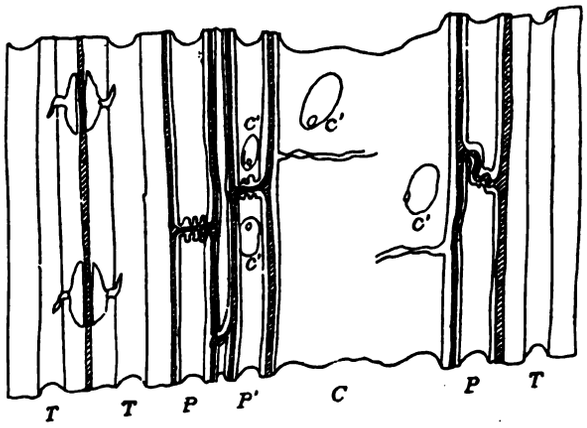


PIN MARITIME. Canal résinifère, section longitudinale (environ 350 diamètres).

C, méat du canal avec restes de cellules résorbées.
P, parenchyme résinifère.
P', parenchyme criblé.
T, trachéides.

des cristaux et divers autres produits rappelant ainsi les cellules extrêmes des rayons médullaires. Peu à peu ces dernières cellules sont envahies par la résine, qui, de là, passe même quelquefois dans les trachéides voisines.

Les canaux et les cellules résinifères n'apportent aucune force au bois, elles sont plutôt un élément local de faiblesse; mais ils ont un rôle spécial sur la qualité du tissu que l'on étudiera ultérieurement.

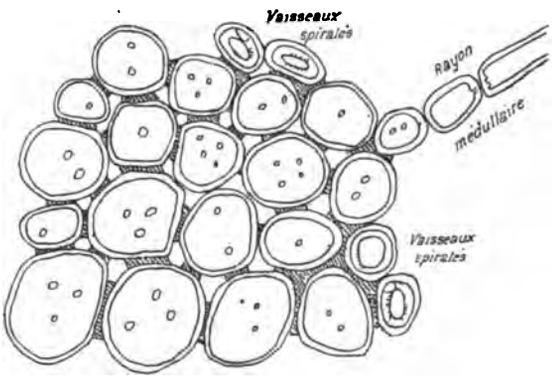


Pin sylvestre. Canal résinifère, section longitudinale (environ 350 diamètres).

C, méat du canal avec restes de cellules. C', ampoules résinifères. P, parenchyme criblé. T, trachéide. P', parenchyme résinifère.

Moelle.

La moelle est un tissu lâche et mou composé de cellules irrégulières, qui ont à peu près les mêmes dimensions dans tous les sens. Elles sont polygonales ou arrondies, laissant le plus souvent de grands méats entre leurs angles. Leurs parois sont très minces et garnies de quelques ponctuations arrondies, dispersées sur toutes leurs faces en contact les unes avec les autres.



Tissu médullaire (environ 200 diamètres).

Ce tissu a un rôle physiologique limité à la période d'allongement de la tige et de ses rameaux. Il n'existe qu'au centre du premier accroissement de toutes les tiges et de tous les rameaux. Il y constitue un cylindre de forme et dimension variables suivant les espèces et presque toujours de diamètre proportionnel à la grosseur des bourgeons terminaux. Ainsi le pin maritime, qui a de gros bourgeons terminaux, a une grosse moelle. Elle est beaucoup plus réduite dans les genévriers pourvus de très petits bourgeons. Sous le rapport du volume, ce cylindre médullaire est toujours relativement très faible et négligeable dans les bois d'œuvre.

Dans les conifères, les seuls vaisseaux bien caractérisés qui existent dans la tige, sont localisés à la périphérie de la moelle; ils sont spiralés ou annelés; quelquefois même on en rencontre quelques autres scalariformes ou ponctués, formés après l'allongement définitif de la tige ou branche.

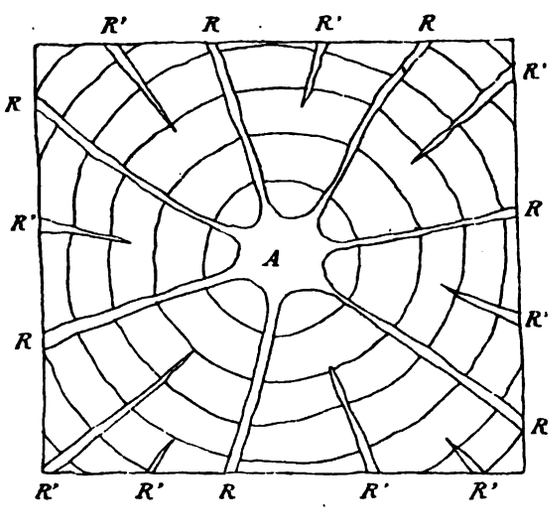
Le vaisseau spiralé, dont nous donnerons la représentation à l'occasion des bois feuillus, est formé d'une file de cellules parallèles à l'axe de croissance, dont les parois perpendiculaires à cet axe se résorbent, et à l'intérieur desquelles les parois développent des épaississements intimement reliés les uns aux autres en forme de spirale. Ces spirales se tendent et s'allongent comme un vrai ressort à boudin pour suivre l'allongement des jeunes tissus et les soutenir pendant qu'ils ne sont maintenus que par la turgescence de la sève, et avant que les premières trachéides soient venues former tout autour de la moelle l'ossature solide ou bois de la tige.

La moelle émet les rayons médullaires placés en spirale tout autour d'elle; leur nombre et l'inclinaison des spirales varient avec les espèces, comme il a été dit.

Le plus souvent on rencontre dans la moelle quelques cellules ou canaux résinifères; dans certaines espèces, ces cellules ou canaux peuvent même être localisés dans cette partie et ne se retrouvent plus dans le reste du tissu.

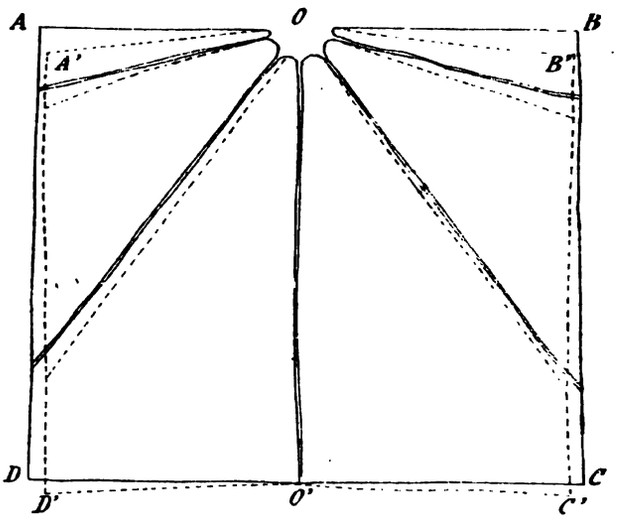
La moelle constitue avec les tissus formés autour d'elle pendant la première année de croissance, le bois dit « primaire » bien différent dans les conifères du bois dit « secondaire » formé les années suivantes, puisque seul, comme on vient de le voir, il renferme des vaisseaux.

La moelle n'a aucune résistance; le cylindre formé par elle s'affaisse et s'écrase sous le moindre effort, comme on peut le constater en la pressant avec une petite tige de même diamètre qu'elle.



Moelle et rayons médullaires.

A, moelle.
R, rayons primaires.
R', rayons intercalaires.

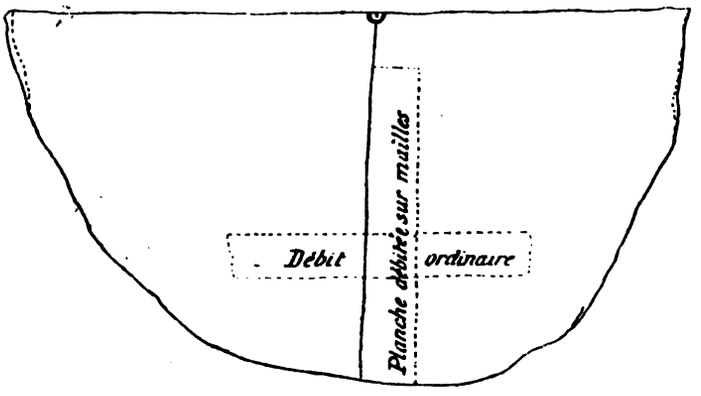


ABCD, bois taillé en rectangle au moment de l'abatage (trait plein).
A'OB'C'O'D', bois déformé par la dessiccation (trait pointillé).

Le retrait du tissu lors de dessiccation consécutive à l'abatage déchire la moelle et souvent produit des fentes longitudinales qui prennent facilement naissance dans les rayons médullaires qui l'environnent.

C'est pour cela que, dans les constructions soignées, cette partie du bois est enlevée, ou tout au moins divisée par un trait de scie; on évite ainsi la production des fentes centrales, puisque le retrait circonférentiel de chaque accroissement peut se faire plus librement. La section prend alors la forme ci-dessus, et l'on dit que le bois *tire à cœur*, parce que le retrait forme un angle saillant sur la face située du côté de la moelle ou cœur des praticiens et un angle rentrant du côté opposé.

Ces angles sont d'autant plus prononcés que le retrait, par suite de dessiccation, est plus considérable dans le sens circonférentiel.



Si donc on veut donner à une pièce mise en œuvre une forme qui ne soit pas modifiée par la dessiccation, il convient de n'employer que du bois sec. Si l'on veut avoir des pièces étroites,

comme les planches, qui ne se voilent pas, il faut les débiter dans la tige parallèlement à deux rayons, autant que la grosseur de la bille à scier le permet. Ce débit est incontestablement le le meilleur à cet égard, mais, pour les résineux, il a l'inconvénient de produire des bois d'aspect monotone; le bois d'automne des accroissements annuels successifs apparaît sous forme de longues lignes de nuance foncée, parallèles les unes aux autres et striant la face vue dans toute sa longueur. Cette raison lui fait préférer, souvent pour les parties vues, le bois débité comme

Veines du sapin
débité par des traits parallèles à un diamètre.

Veines du sapin
débité sur mailles.

à l'ordinaire, par des traits parallèles à un diamètre. Ces traits, en raison de la forme non absolument circulaire des accroissements annuels, les sectionnent de diverses manières, et les zones de bois d'automne produisent des sortes de marbrure du plus joli effet sur la face vue, comme on peut s'en convaincre en examinant des panneaux construits en cèdre, pitchpin, pin de Riga, sapin, etc.

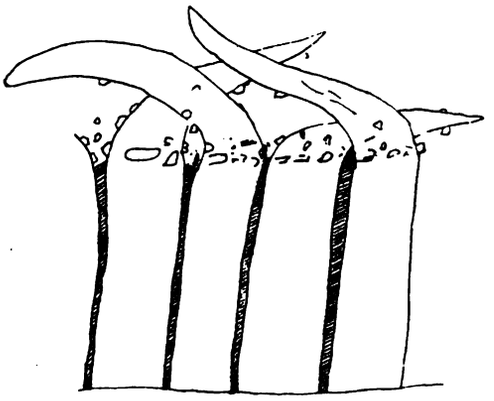
Matière intercellulaire.

Tous les éléments du tissu ligneux que nous venons de passer en revue successivement sont agglomérés par une matière intercellulaire ou conjonctive d'épaisseur variable, suivant les espèces botaniques et quelquefois pour la même espèce suivant la nature des cellules réunies. Certains botanistes nient l'existence de cette matière et ne la considèrent que comme l'enveloppe primordiale des cellules. Quelle que soit son origine, elle agit, au point de vue technique, comme une matière conjonctive bien distincte de l'enveloppe même des cellules.

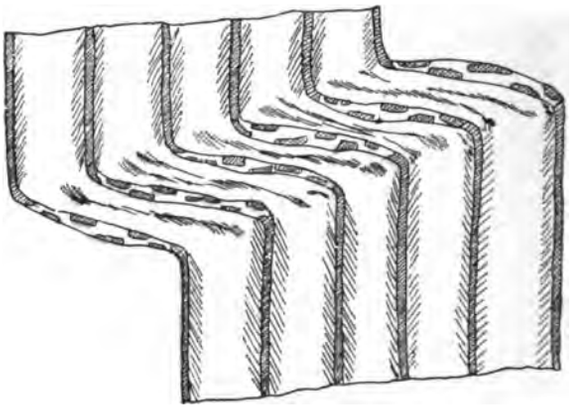
Ce fait ressort de l'examen des pièces de bois usées ou brisées de diverses manières.

Si l'on étudie au microscope la partie supérieure d'un pavé de bois de pin maritime usé sur la voie publique, on y remarque un feutre de trachéides mises à nu par le roulement des voitures; les extrémités libres ne contiennent que quelques traces de la matière intercellulaire qui a été broyée, puis entraînée sous forme de poussière par le vent ou les lavages.

Sur la limite du bois non attaqué et de la partie feutrée, on voit la paroi des trachéides se détacher petit à petit du bloc par suite du broyage successif des portions de la matière conjonctive qui y adhère.

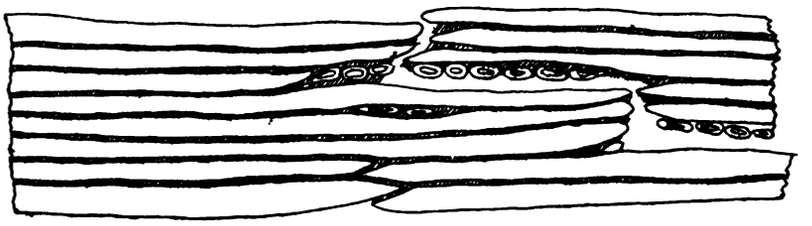


Extrémités des fibres dissociées par le roulement des voitures.



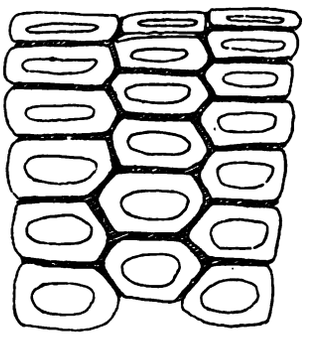
Rupture par compression.

Dans les fractures par compression, les trachéides du plan de rupture tiennent encore par leurs extrémités dans le bois non brisé, et, dans le plan de rupture, les cellules isolées les unes des autres sont couchées et affaisées par suite de l'émiettement de la matière intercellulaire encore plus ou moins adhérente aux parois froissées sur le plan de rupture.

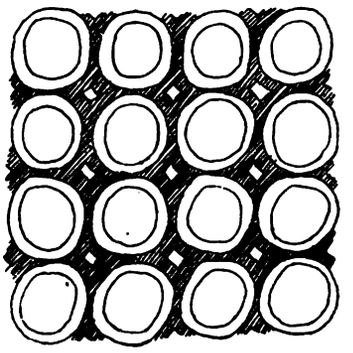


Rupture par traction.

Enfin, si nous examinons de grandes éprouvettes soumises à la traction jusqu'à la rupture, nous remarquons que la brisure produit de longues esquilles limitées par les plans de moindre résistance déjà signalés (flancs des rayons médullaires et bois de printemps), de telle sorte que les deux parties séparées peuvent se réemboîter facilement l'une dans l'autre. Sur ces plans, la



Tissu de pin sans méat.



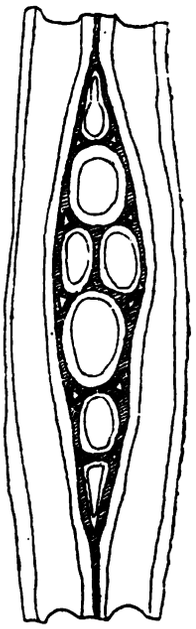
Tissu avec méats des araucarias.

brisure a lieu encore dans la matière conjonctive qui apparaît sur les esquilles comme un vernis brisé dans son épaisseur; les cellules adhèrent complètement aux esquilles, et on n'aperçoit que rarement quelques-unes d'entre elles brisées par l'effort.

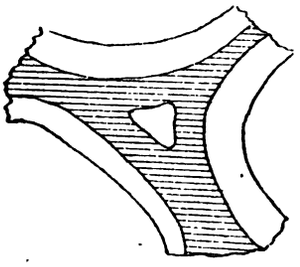
Cette matière se reconnaît plus ou moins bien au microscope suivant son abondance et son aspect variable avec les espèces ; son existence est souvent rendue plus apparente par une coloration spéciale et différente de celle des autres parties du tissu.

Elle ne remplit pas toujours intégralement les intervalles existant entre les cellules de diverses natures ou même de semblables sortes; elle semble n'avoir qu'une épaisseur déterminée et spécifique autour d'une paroi cellulaire donnée, et, s'il existe des angles plus grands par suite d'une forme plus arrondie, on aperçoit des petits vides nommés méats intercellulaires.

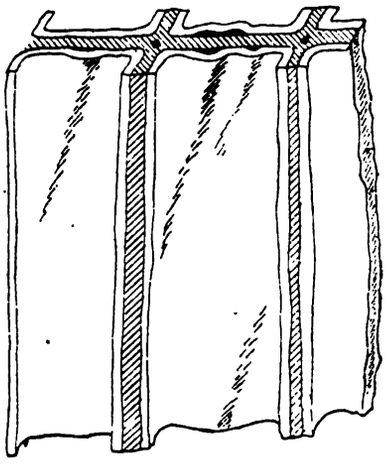
Des méats de ce genre existent dans le bois des araucarias, dans l'espace existant entre les trachéides à section transversale ronde de cette famille. Le pin d'Alep, chez lequel la matière



Méats dans un rayon médullaire.



Forme d'un méat.



Plissement de la paroi décollée de la matière intercellulaire.

intercellulaire verdâtre est abondante entre des trachéides arrondies aux angles, possède aussi de très petits méats dans ces mêmes angles.

Ils sont beaucoup plus fréquents autour et dans les rayons médullaires composés de cellules ovales en contact avec les trachéides qui forment des secteurs perpendiculaires à la direction des rayons.

Si l'on examine à de très forts grossissements ces méats, ils ont la forme ci-contre; les angles sont arrondis, comme si cette matière était dans le principe une matière sirupeuse ou gluante.

Les cellules adhèrent généralement intimement à cette matière, qui semble avoir été produite autour de la cellule pendant son développement; on observe cependant quelques décollements partiels sous certains plissements de la paroi, produits par une cause quelconque (croissance exagérée ou retrait après la dessiccation).

La nature même de cette matière est différente de celles des parois; si cette dernière est remarquablement souple et tenace, la première semble dans les bois mis en œuvre, tout au contraire, friable et cassante; elle se brise d'autant plus facilement qu'il y existe des méats et qu'elle est plus abondante. Ses qualités doivent donc entrer en ligne de compte dans les questions de résistance; l'infériorité du bois de pin d'Alep est surtout motivée par cet état de choses.

Il résulte de l'étude précédente, faite en grande partie au microscope, que l'examen anatomique peut fournir d'utiles données sur les questions relatives à la qualité des bois résineux; on peut les résumer ainsi :

Les bois résineux sans zone d'automne bien marquée, pourvus de petits rayons médullaires et dépourvus de canaux résinifères, comme l'if et les genévriers, donnent une matière ligneuse très homogène, mais peu résistante, dont les genévriers oxycèdre et de Virginie sont les meilleurs types. La résistance de ces bois est d'autant plus petite que le diamètre des trachéides est plus grand, mais elle augmente avec l'épaisseur des parois et de leurs épaississements acces-

soires ; l'if en est un bon exemple, puisque sa ténacité devient suffisante pour le faire rechercher par les tourneurs de moyeux de voiture et d'objets de tabletterie ou d'ébénisterie les plus délicats.

Les bois résineux à bois d'automne bien distinct fournissent une matière ligneuse d'autant moins homogène que la compacité de la zone de printemps et de la zone d'automne est plus différente ; sa résistance est d'autant plus grande que les zones d'automne sont plus larges et plus nombreuses sur un diamètre donné. Les pins à cinq feuilles sont, pour cette raison, moins résistants que les pins à deux feuilles pourvus de larges zones d'automne, et les bois résineux crûs en montagne sont préférés à ceux de la plaine pourvus de larges accroissements ; le mélèze des Alpes, l'épicéa du même pays et les sapins de montagne sont, comme on le sait, bien plus estimés que leurs congénères de la Bourgogne ou de la Normandie.

La résistance de ces bois peu homogènes augmente comme celle des précédents avec l'épaisseur des parois des trachéides ; ainsi le pin *weymouth* est moins résistant que le pin cembro, et le pin sylvestre moins résistant que le laricio et le pitchpin pour cette raison.

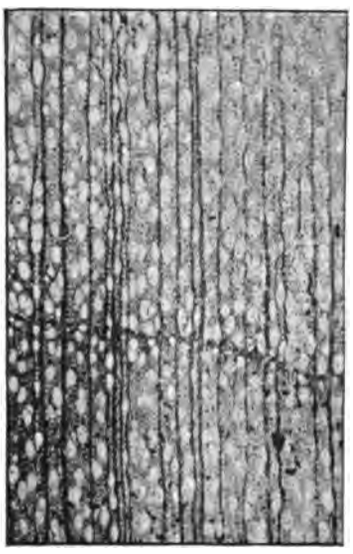
L'abondance de la matière intercellulaire cassante et des méats qu'on y rencontre, diminue la cohésion ; c'est ainsi que l'araucaria donne un bois bien inférieur à ceux des espèces voisines.

D'autres considérations interviennent pour modifier les qualités de ces bois ; il en sera parlé ultérieurement après l'étude des bois feuillus, car elles influent sur tous les tissus ligneux, et il est inutile d'en parler avant d'avoir terminé l'étude anatomique complète des cellules.

BOIS FEUILLUS OU ANGIOSPERMES DICOTYLÉDONÉS.

Étude anatomique des cellules.

La section transversale des angiospermes dicotylédonés ou bois feuillus se distingue à première vue de celles des bois résineux. L'aspect général n'est plus régulièrement muriforme



ALISIER TORMINAL. (30 diamètres.)

ORME CHAMPÊTRE. (11 diamètres.)

CHÊNE PÉDONCULÉ. (12 diamètres.)

sur la coupe transversale qui apparaît semée de petits trous souvent appelés *pores* dans les descriptions techniques. Ces petits trous, de diamètre très variable, sont les lumens des vaisseaux disposés de diverses manières suivant les espèces botaniques.

Ces vaisseaux répandus dans toute l'épaisseur de la tige n'existaient dans les conifères que dans le bois primaire ou premier accroissement.

Les rayons médullaires prennent en outre, sur les différentes sections, les hauteurs et les largeurs les plus variables. Enfin, si l'on poursuit l'examen au microscope, on s'aperçoit que la texture relativement simple des conifères n'existe plus dans cette classe de végétaux; les cellules y ont les formes les plus variées, et leurs différentes sortes s'y mélangent des manières les plus diverses.

Il va être procédé à l'étude de chacune d'elles dans l'ordre suivant :

1° Fibres;
2° Vaisseaux;
3° Parenchyme ligneux;
4° Rayons médullaires ou parenchyme radial;
5° Moelle;
6° Matière intercellulaire.

Fibres.

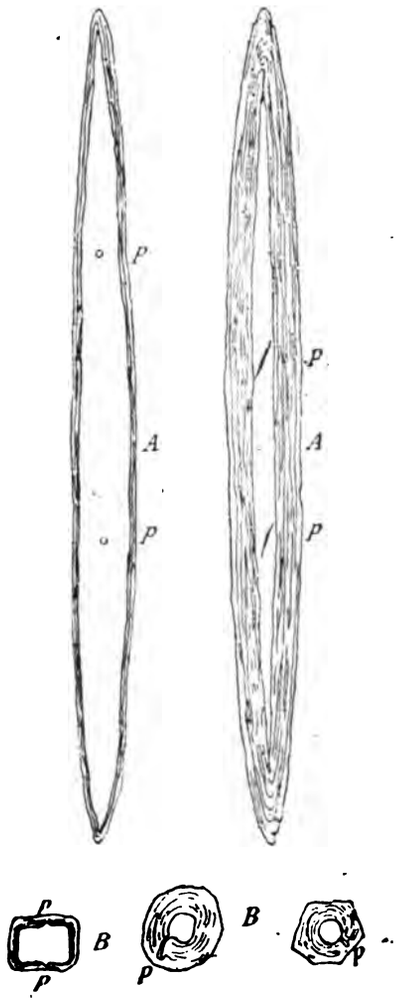
Les fibres sont des cellules fusiformes allongées dans le sens parallèle à la moelle. Leur lumen est généralement étroit et toujours le plus étroit par rapport à ceux des autres cellules qui constituent avec elles le bois d'une espèce végétale déterminée.

L'épaisseur de la paroi varie suivant ces espèces; mais elle ne diffère que fort peu d'un bord à l'autre du même accroissement. Cet épaississement de la paroi constitue le principal élément de dureté et de compacité des bois feuillus. La fibre de tous les bois durs, chêne, olivier, amandier, teak, ébène, buis, bois de fer, est très épaissie; celle des bois tendres, peuplier, saule, a, au contraire, une paroi à peine plus épaisse que celles des autres cellules.

La section transversale des fibres est ronde ou ovale, si les cellules voisines sont peu résistantes; mais, le plus souvent, elle est polygonale par suite de la compression des cellules environnantes et surtout de ces fibres entre elles.

La grosseur des fibres est très variable et influe beaucoup sur l'aspect et la qualité du bois.

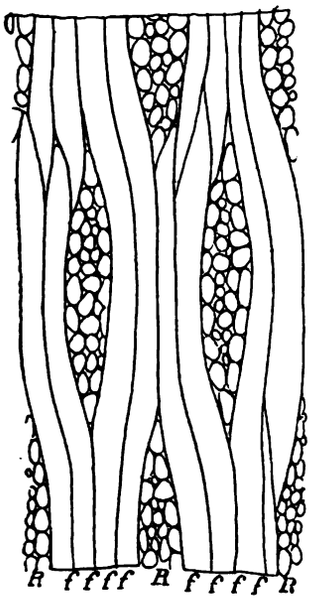
Les plus grosses, comme celles des peupliers, des saules, produisent des bois grossiers et utilisés seulement pour les ouvrages communs; les plus fines, comme celles du cormier, de l'ébène et du buis, produisent des bois « dits à grain très fin », et susceptibles d'un beau poli. Généralement, cette grosseur n'a pas la régularité remarquée dans les conifères; on en rencontre, à côté les unes des autres, de diamètres très différents; aussi leur disposition est-elle des plus irrégulières sur la section transversale. Souvent on remarque quelques rangs de fibres aplaties dans le sens radial qui terminent l'accroissement annuel; dans cette partie beaucoup plus réduite que chez les conifères, la disposition devient quelquefois assez régulière et muriforme par suite de la disparition des autres éléments constitutifs des secteurs (vaisseaux et parenchyme); mais cette partie comprend à peine quelques rangs (2 à 10) circonférentiels de cellules, de sorte que le bord externe n'apparaît pas aussi nettement que dans les gymnospermes; dans tout le reste de l'accroissement, l'aspect des fibres est le même, et on a peine à distinguer dans quelques espèces la décroissance de l'épaississement si nette dans les conifères.



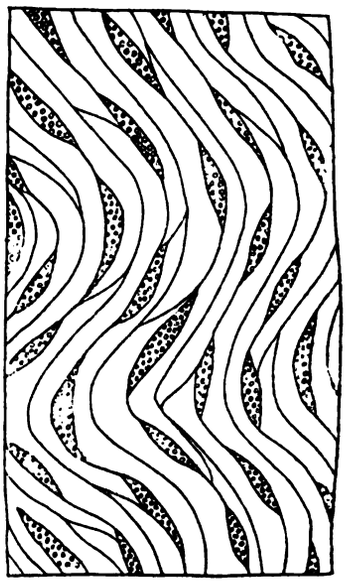
Fibres.

A, section longitudinale. p, ponctuations. B, sections transversales. p, ponctuations.

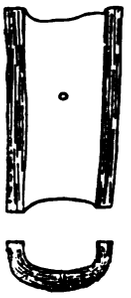
La longueur des fibres est aussi variable que les espèces; les plus longues constituent généralement les tissus les mieux liés et les plus résistants à la rupture. Dans les bois feuillus, en raison de la grosseur des rayons médullaires et de l'existence d'autres sortes de cellules dans les secteurs, on remarque très fréquemment que les fibres n'ont plus la rectitude constatée dans les bois résineux; elles s'enchevêtrent les unes dans les autres, ou même leurs extrémités s'incurvent, s'accrochant ainsi légèrement les unes aux autres. Ces faits modifient en plus ou en moins certaines résistances. Dans diverses circonstances anormales de croissance, les fibres forment des enchevêtrements des plus compliqués, connus dans le commerce sous le nom de bois *ondulé* ou *madré;* ces accidents de croissance sont fort recherchés par l'ébénisterie, soit qu'ils



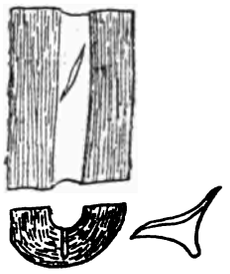
Déviation des fibres par les rayons médullaires.
f, fibres. — R, rayons médullaires.
(Section tangentielle.)



Fibres ondulées ou madrées.
(Section tangentielle.)



Ponctuation.
PEUPLIER.



Ponctuation. Forme du creux.
HÊTRE.

soient localisés dans les *loupes* ou *broussins*, soit qu'ils s'étendent sur une partie plus ou moins grande de la tige, parce qu'elles donnent aux faces vues un aspect très original et parfois fort élégant. Cette déviation dans la rectitude du tissu et ces enchevêtrements ont, de plus, l'avantage de s'opposer au développement des fentes de dessiccation : l'orme dit *tortillard*, très recherché par la carrosserie pour la confection des moyeux de voiture, doit tout son prix à cet état du tissu.

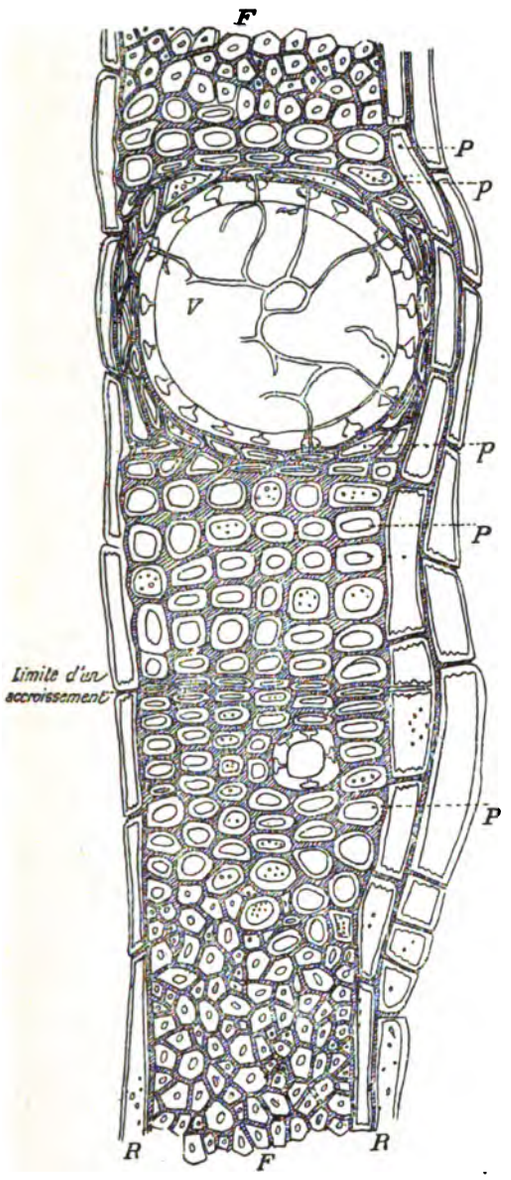
Les ponctuations sont rares sur les parois des fibres; elles sont très petites, rondes et prennent le plus souvent la forme d'un trait oblique ou d'un stigmate par suite de l'épaississement de la paroi qui se produit en spirales visibles même dans certaines espèces. Cette rareté et cette constance de forme permettent de reconnaître de suite les fibres sur les sections longitudinales.

Si l'épaisseur, la longueur et la direction plus ou moins droite sont les éléments de résistance individuelle d'une fibre isolée, le nombre et le groupement de ces cellules ont une bien plus grande importance sur ceux du bois tout entier.

La proportion des fibres dans un tissu par rapport aux autres éléments varie à l'infini, mais elle est constante dans une espèce donnée. Cette proportion est toujours très élevée dans les bois durs; et, dans un accroissement donné, les parties où elle est le plus élevée sont toujours les plus compactes et les plus résistantes.

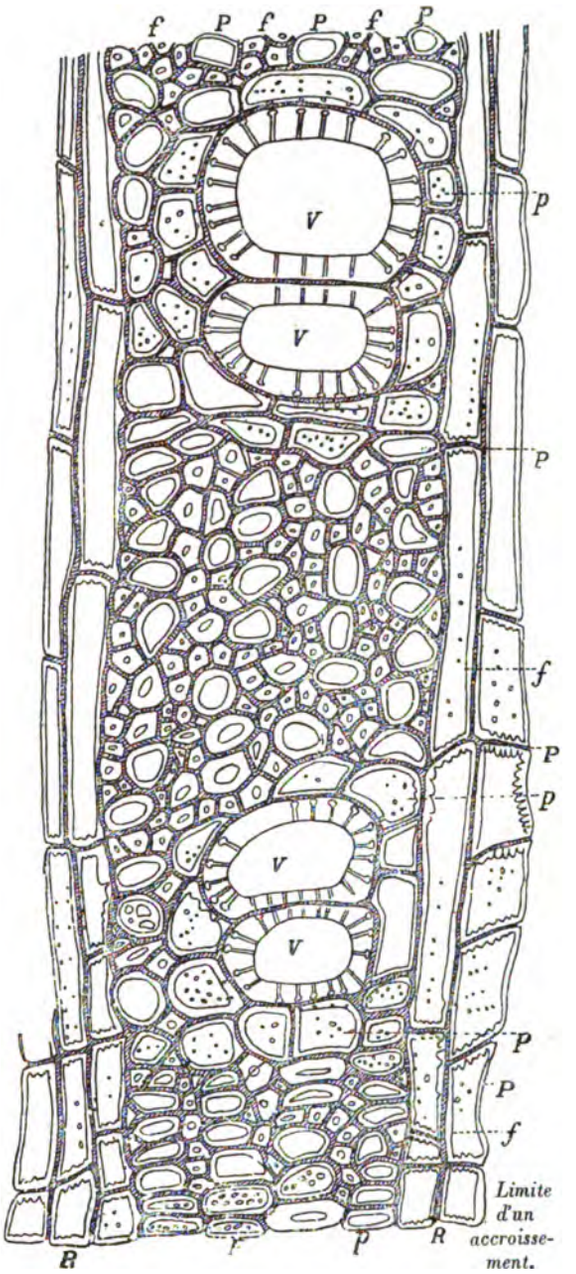
Le groupement varie aussi suivant les espèces. Tantôt les fibres forment à elles seules des masses compactes entre deux rayons médullaires, séparées par un tissu formé des autres éléments, comme dans l'acacia. Tantôt ces masses sont plus ou moins séparées par des rangs d'autres

cellules, comme dans le chêne et le frêne. Ces masses dans certains chênes peuvent être semées de quelques rares cellules de parenchyme. Dans le hêtre, les fibres très épaisses se mélangent à tous les autres éléments en les entourant. Dans le frêne, les fibres remplissent le secteur et, au milieu d'elles, les autres éléments sont divisés en deux réseaux : l'un vasculaire, oblique ou circonférentiel plus ou moins interrompu, et l'autre parenchymateux radial et irrégulier. Enfin,



ROBINIER FAUX ACACIA. (300 diamètres.)
(Section transversale.)

F, faisceau de fibres.
P, faisceau de parenchyme long.
V, vaisseau avec thylles.
p, parenchyme court groupé autour des vaisseaux.
R, rayons médullaires.



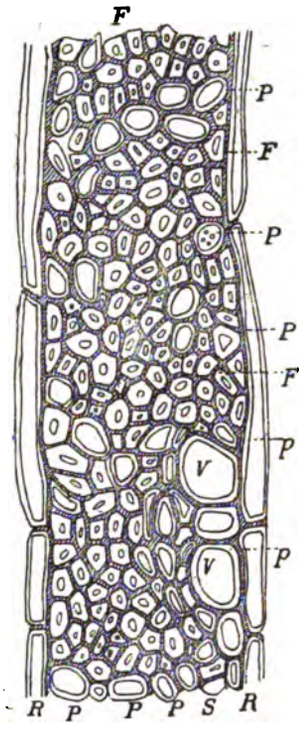
FRÊNE COMMUN. (300 diamètres.)
(Section transversale.)

f, fibres.
P, parenchyme long.
V, vaisseau.
p, parenchyme court.
R, rayons médullaires.

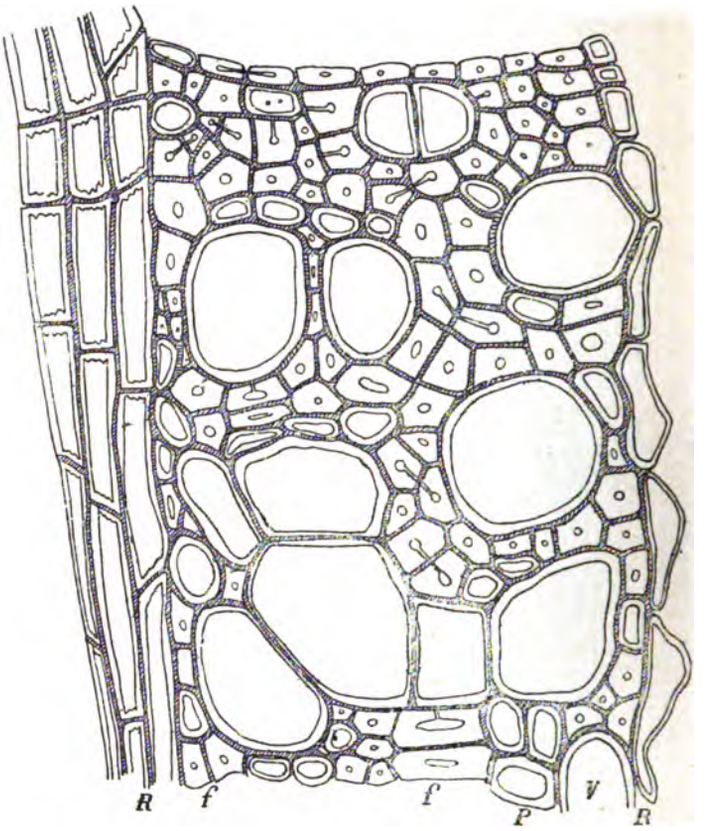
dans le peuplier, les fibres très peu épaissies remplissent le vide laissé par les vaisseaux, et c'est à peine si l'on remarque au milieu d'elles quelques éléments parenchymateux.

Il est clair que ces dispositions ont une grande importance sur les questions de résistance et les modifient autant qu'il y a d'espèces botaniques.

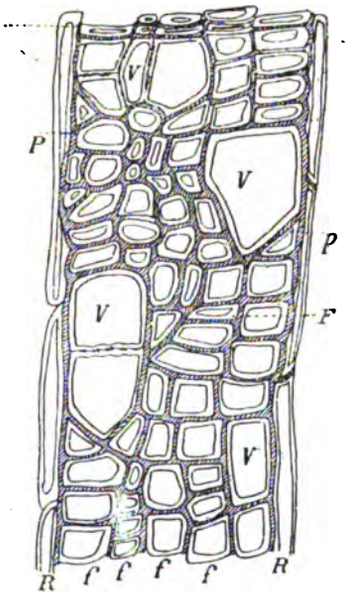
Les gros faisceaux de fibres augmentent la rigidité et la compacité (acacia, bois de fer et jarrah), mais ils diminuent l'élasticité du tissu. La prédominance de ces faisceaux sur les autres éléments agit dans le même sens.



Chêne pédonculé. (300 diamètres.)
Bois d'automne.
(Section transversale.)



Hêtre commun. (300 diamètres.)
Bois de printemps.
(Section transversale.)



Peuplier noir. (300 diamètres.)
Bois d'automne.
(Section transversale.)

La dispersion des fibres au milieu des autres éléments développe la flexibilité et l'élasticité du tissu.

Le frêne, chez lequel le mélange des fibres et des autres éléments est plus intime que dans le chêne, est plus souple et plus élastique que lui; il se prête beaucoup mieux à la confection des pièces courbes. L'acacia, possesseur de faisceaux très compactes exclusivement constitués par des fibres, est très peu flexible, très rigide et fournit d'excellents rais de roue, lorsque leurs extrémités sont bien encastrées dans les jantes et le moyeu; il fournit des pieux d'une grande résistane; il est, pour ces usages, bien supérieur au chêne et au frêne.

Le peuplier, formé presque essentiellement de fibres à paroi mince, n'aurait plus aucune valeur si le parenchyme était plus abondant dans son tissu.

Les fibres courtes, d'épaisseur moyenne, disposées par petits faisceaux de 2 à 3 ou 4 rangs au milieu d'un réseau formé de parenchyme et de petits rayons médullaires, font du noyer la plus belle matière ligneuse pour la sculpture fine, l'armurerie et l'ébénisterie. Cette disposition lui permet de se rétrécir sans fendillement lors de la dessiccation, et de se couper sans éclatement dans tous les sens.

Par ces quelques exemples, on voit combien les qualités du bois peuvent varier, et combien il est utile de choisir la matière ligneuse destinée à un usage déterminé.

La répartition des fibres est variable pour certaines espèces, dans un même secteur, d'un bord à l'autre de l'accroissement. Ces cellules sont souvent moins nombreuses dans le bois formé au printemps, par suite de la prédominance dans cette partie des vaisseaux et du parenchyme. Les zones de cette nature sont très faciles à reconnaître dans le chêne, le châtaignier, l'orme, etc.; elles constituent une partie de plus faible résistance, *bois gras*, bois *poreux* des praticiens, à la quelle les forestiers donnent le nom de bois de printemps comme aux parties analogues du bois des conifères. On aura à revenir sur

NOYER COMMUN.
(27 diamètres.)

cette zone à l'occasion de l'étude des vaisseaux.

Le surplus du bois plus dur de l'accroissement prend le nom de bois d'automne.

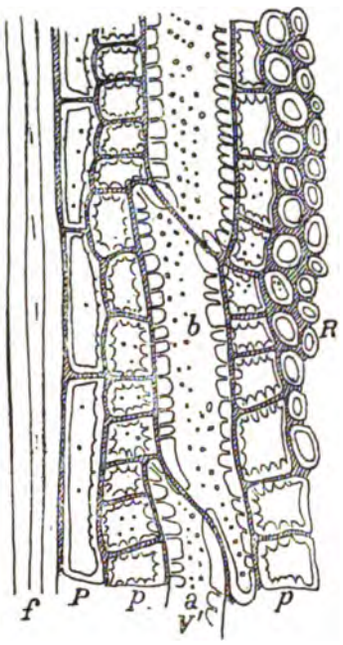
Les derniers rangs de fibres formant le bord externe de l'accroissement ne sont pas toujours disposés circulairement autour de la tige; ils forment, suivant les espèces, des arcs concaves ou convexes, des lignes sinueuses, s'appuyant sur les rayons médullaires ou sur certains d'entre eux, les plus gros en général. Ces dispositions permettent de discerner et de spécifier certaines espèces, comme le charme, le coudrier, le hêtre, etc. Cette irrégularité peut avoir son importance dans certains cas, car les accroissements successifs se trouvent ainsi mieux liés les uns aux autres.

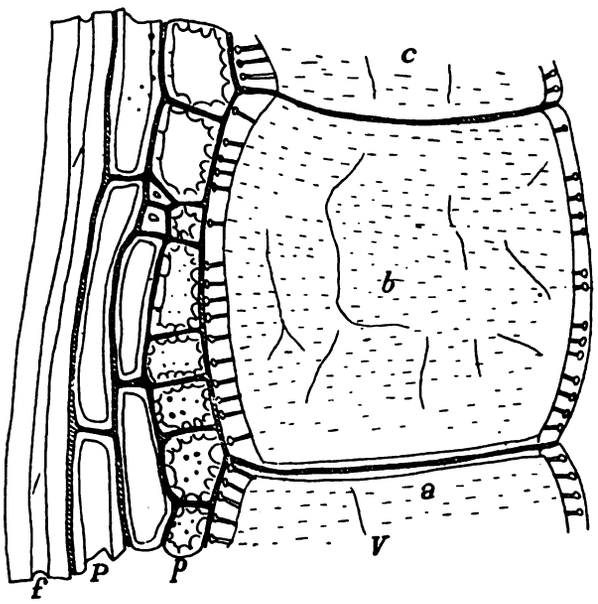
CHÊNE ROUVRE. (90 diamètres.)
B. d. p., bois de printemps. *B. d. a., bois d'automne.*
V, vaisseau.

Vaisseaux.

Les vaisseaux sont ces grandes cellules qui pointillent de diverses manières la section transversale des bois feuillus et les caractérisent; ils sont appelés pores par les praticiens. Ces cellules juxtaposées bout à bout forment de longs cylindres capillaires paraissant s'étendre dans toute la longueur de la tige de l'arbre parallèlement à l'axe de croissance.

Cette suite de cellules était fermée au début de la végétation; puis les parois perpendiculaires à l'axe de croissance se sont plus ou moins résorbées, laissant presque toujours les traces de leurs

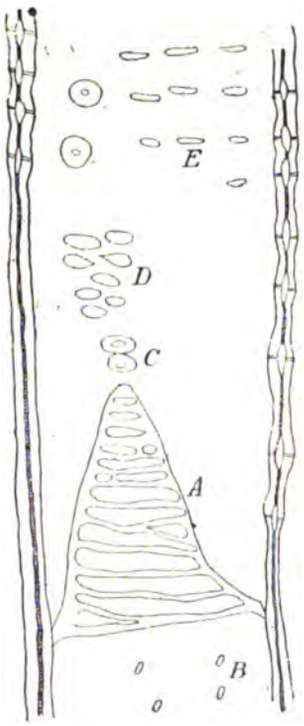




Frêne commun, sections tangentielles. (300 diamètres.)

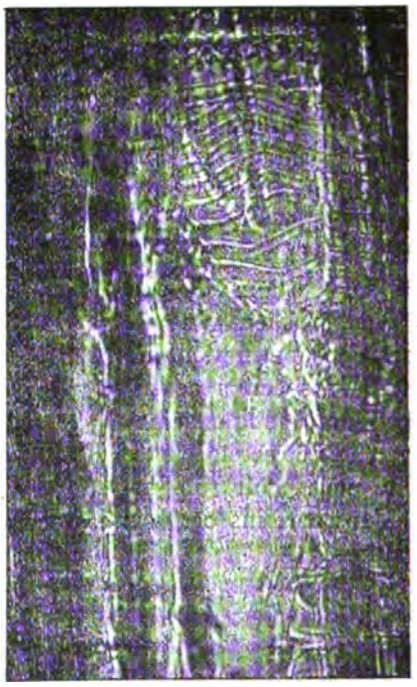
V, vaisseau du bois de printemps.
a, *b*, *c*, cellules primordiales.
V', vaisseau du bois d'automne.
p, parenchyme court.
P, parenchyme long.
f, fibres.
R, rayons médullaires.

limites primitives. Ces restes forment des étranglements, des bourrelets à l'intérieur des canaux longitudinaux considérés sur une section (frêne). D'autres fois, comme dans l'aune, le hêtre, etc.,



Hêtre commun. (550 diamètres.)

A, grille remplaçant la paroi de contact.
B, ponctuations de contact avec les fibres.
C, ponctuations de contact avec le parenchyme.
D, rayons cellules de 1re sorte.
E, rayons cellules de 2e sorte.

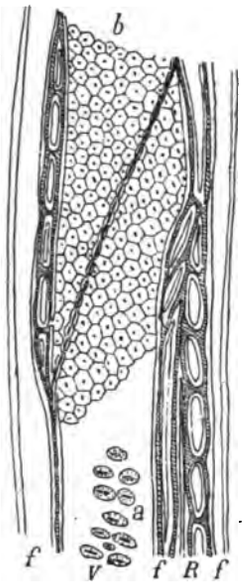


Aune glutineux. (450 diamètres.)

A, grille remplaçant la paroi de contact.
B, ponctuation de contact avec le parenchyme.

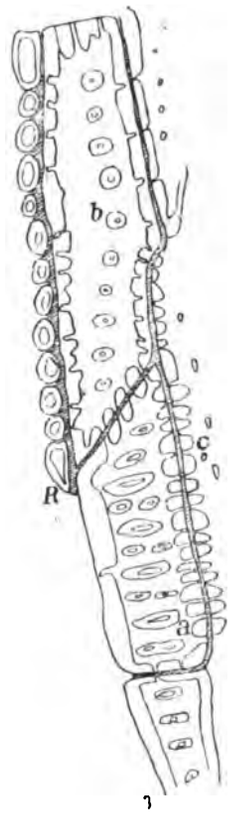
la paroi n'est que partiellement résorbée, et elle forme une sorte de grille sur l'emplacement des parois primordiales.

Enfin, dans certaines espèces ou certaines parties du bois (chêne, peuplier et hêtre), la



PEUPLIER NOIR. (400 diamètres.)
Vaisseau fermé.

f, fibres.
R, rayons médullaires.
a, ponctuations de contact avec le parenchyme.
b, ponctuations des parois séparatives des vaisseaux.

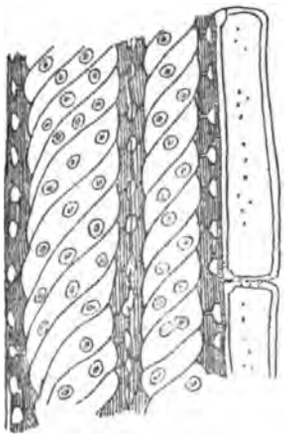


HÊTRE COMMUN. (400 diamètres.)
Vaisseau fermé du bois d'automne.

a, contact avec le parenchyme court.
b, contact avec le parenchyme long.
c, contact avec le vaisseau voisin.

membrane séparative s'amincit seulement, ou bien se couvre de grandes et nombreuses ponctuations, et le vaisseau est dit fermé. Le plus souvent, lorsque ces deux sortes de vaisseaux existent dans le même tissu, on trouve tous les intermédiaires entre le vaisseau ouvert et le vaisseau fermé, et même entre ces derniers et le parenchyme long, de sorte qu'il est difficile de distinguer les uns des autres et de dire où les uns commencent et où les autres finissent.

Les parois des vaisseaux sont plus ou moins garnies de ponctuations de formes et de dimensions très diverses, comme on peut s'en rendre compte par les dessins ci-dessus. Elles sont simples, rondes, ovales, en trait, aréolées ou incrustées en cuvette. Ces formes varient aussi dans le même vaisseau avec la nature des cellules en contact. Cette variété est particulièrement curieuse dans les bois (comme le hêtre) où les cellules de natures diverses, au lieu de former des faisceaux distincts, sont mélangées les unes aux autres, de sorte que les contacts varient tout autour d'un même vaisseau.

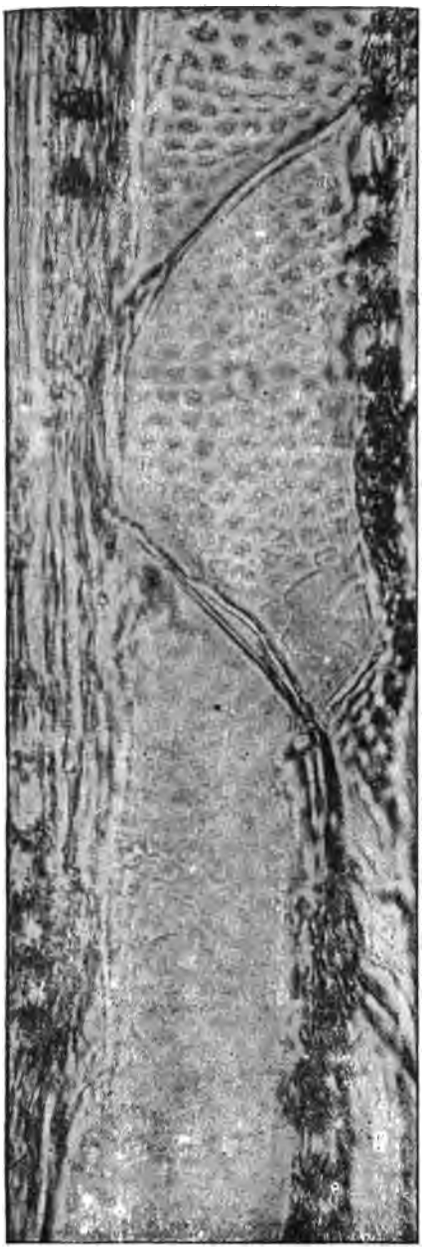


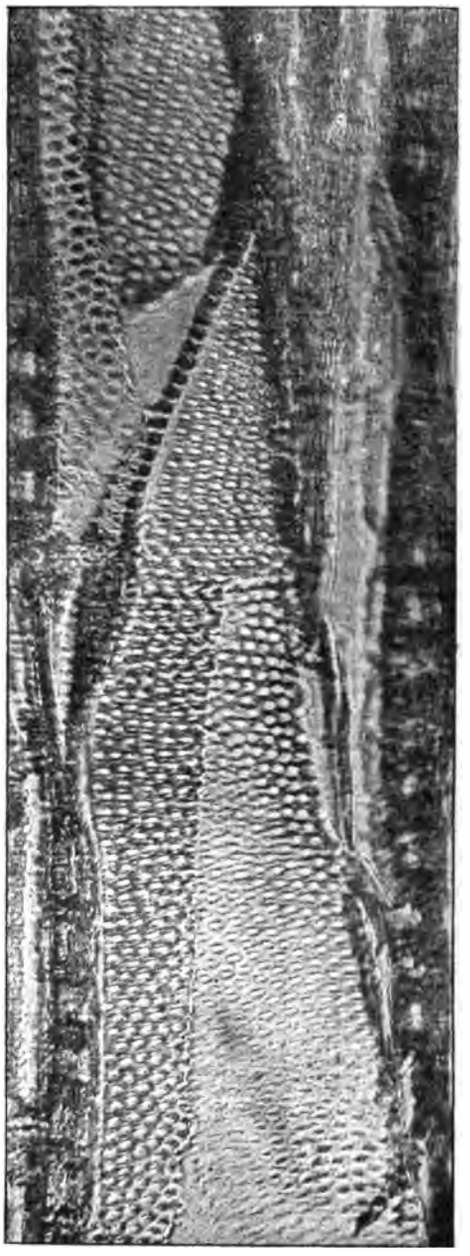
Vaisseau du robinier pseudo-acacia dans la partie extrême d'un accroissement annuel, épaississement spiralé.
(400 diamètres.)

L'épaisseur de la paroi est variable avec les espèces; elle est le plus souvent peu considérable, inférieure ou égale à celle du parenchyme. Mais elle peut aussi être considérable, comme dans le frêne où elle dépasse celle des fibres.

L'épaississement est généralement régulier, mais il peut être irrégulier, chagriné, strié et même spiralé comme celui des fibres (robinier faux acacia).

L'épaississement semble se produire beaucoup moins en spirale que dans les fibres; car l'ouverture des ponctuations est le plus souvent allongée dans le sens horizontal dans les plus gros vaisseaux, ou suivant des lignes obliques très rapprochées de l'horizontale. Cette obliquité augmente souvent à mesure que les vaisseaux diminuent de diamètre; dans quelques espèces





PEUPLIER NOIR. (450 diamètres.) AUNE GLUTINEUX. (450 diamètres.)

Ponctuations des parois séparatives des vaisseaux groupés.

(Section tangentielle.)

comme l'acacia et l'orme, on voit de véritables spirales saillantes sur les sections qui deviennent beaucoup plus manifestes dans la dernière partie de l'accroissement et entre lesquelles les ponctuations s'allongent dans le même sens.

Dans le bois primaire, ou bois qui se constitue pendant l'allongement de la tige au commencement de la formation du premier accroissement annuel, on trouve des vaisseaux de formes spéciales désignés sous le nom de vaisseaux spiralés, annelés et scalariformes.

Ces vaisseaux sont destinés à soutenir la jeune tige avant et pendant la formation des fibres qui doivent donner de la consistance à la plante; ils permettent à la plantule ou au rameau de se tenir droit pendant que se produit l'allongement de leurs tissus presque exclusivement composés de moelle turgescente, c'est-à-dire gonflée par la sève.

Les épaississements de ces vaisseaux en forme d'anneau ou de spirale sont, au bout de quelque

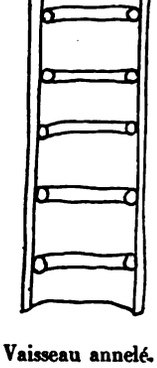
temps et pour certaines espèces, indépendants de la paroi, et ils sortent en se détendant du canal vasculaire lorsque l'on vient à le sectionner.

ÉRABLE SYCOMORE. (450 diamètres.)
Tige de l'année en voie d'allongement.

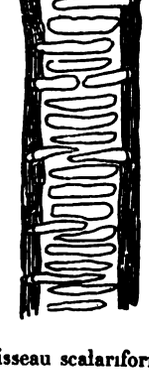
V. S., vaisseau spiralé avec la spirale non encore allongée.
S. Spirale jaillissant hors du vaisseau par suite de sa section.
V. Sc., vaisseau scalariforme.

CHÊNE ROUVRE. (90 diamètres.)
Vaisseaux avec restes de thylles brisées lors de la section de la préparation.

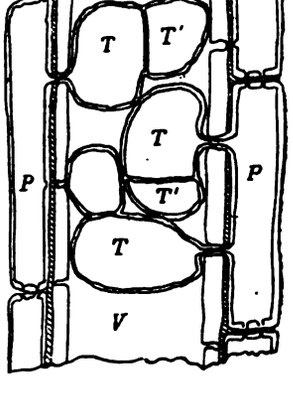
ROBINIER PSEUDO-ACACIA. (30 diamètres.)
V, vaisseaux avec thylles.



Vaisseau annelé.



Vaisseau scalariforme.

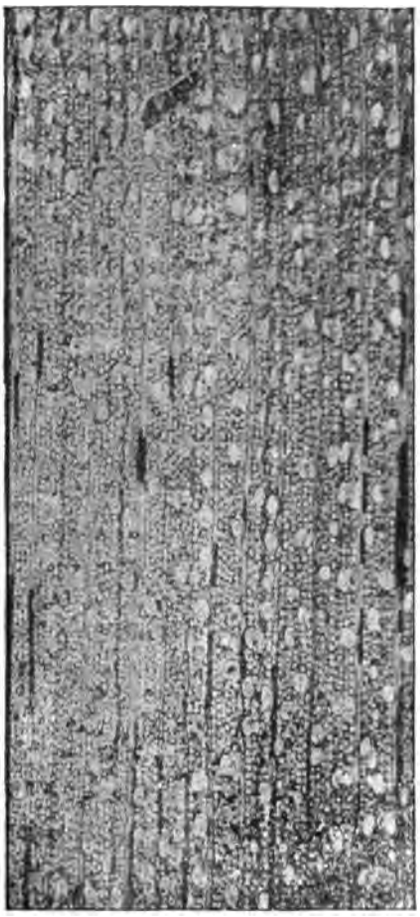


V., vaisseau.
T, thylle émise par le parenchyme P
T', subdivision d'une thylle.

Si l'on étudie les vaisseaux depuis la périphérie de la tige jusqu'au centre, on remarque que, dans certaines espèces (chêne, noyer, murier, robinier, etc.), la cavité vide dans les accroissements les plus récents se remplit, à une certaine distance de la périphérie, de fines membranes qui la divisent de diverses façons; ces membranes portent le nom de *thylles;* elles apparaissent dans le tissu, lorsque l'amidon commence à en disparaître, au moment même où le bois se transforme en *bois de cœur* ou *bois parfait* des praticiens. Elles ralentissent évidemment le courant des dissolutions circulant dans les vaisseaux et venant du sol; elles sont généralement accompagnées de concrétions diverses qui se disposent à leur intérieur ou autour d'elles.

Rhododendron des Alpes. (65 diamètres.)
(Section transversale.)
Dimension des vaisseaux : $0^{mm}02$ à $0^{mm}010$.

Ces thylles sont, d'après les botanistes, des expansions de la membrane primaire du parenchyme voisin des vaisseaux qui se gonflent en face des ponctuations, déchirent la faible paroi séparative et viennent se développer à l'intérieur de la cavité vasculaire dont la turgescence diminue avec l'âge. Ces membranes forment ainsi des poches ou pseudo-cellules qui parfois même peuvent se multiplier dans la cavité envahie en se recloisonnant comme de véritables cellules; elles finissent alors par garnir le vide d'un réseau rappelant le tissu de la moelle.

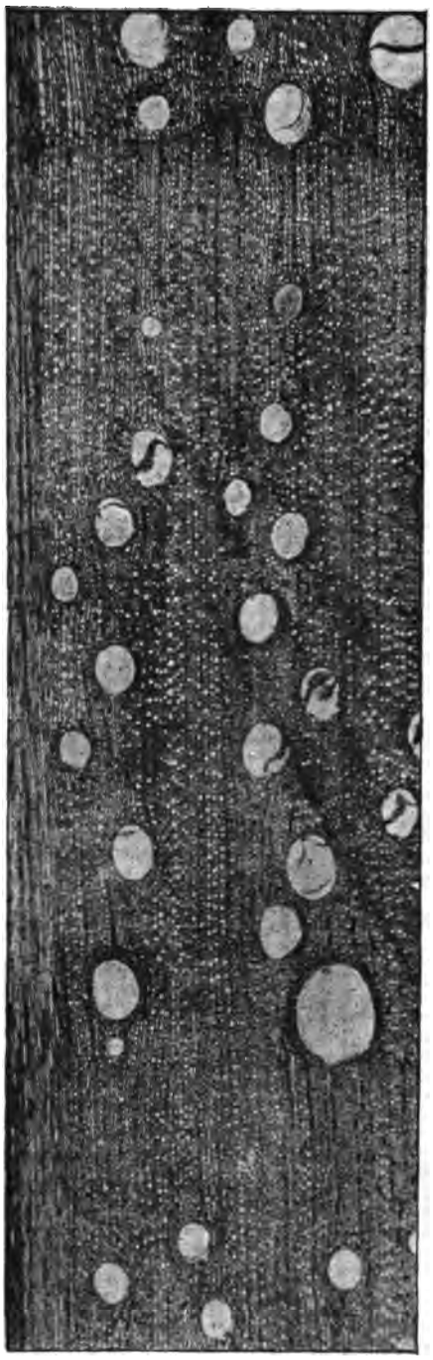


Buis commun. (60 diamètres.)
(Section transversale.)
Dimension des vaisseaux : $0^{mm}033$ à $0^{mm}011$.

Le diamètre des vaisseaux ou leur grosseur varie beaucoup d'une espèce botanique à l'autre; relativement très grand dans le chêne, le châtaignier, etc., il est très petit dans le buis, le rhododendron. Dans la même espèce, ce diamètre peut varier beaucoup d'un bord à l'autre de l'accroissement; ainsi, dans un échantillon de chêne pédonculé à accroissement rapide, ce diamètre peut diminuer progressivement dans la proportion de dix et même vingt à un en allant du bord interne au bord externe. Cette décroissance centrifuge des diamètres peut être considérée comme une loi générale chez les bois feuillus, mais elle est plus ou moins manifestement caractérisée ou régulière suivant les espèces. Dans quelques-unes, il existe, sur une petite étendue du bord interne; une décroissance centripète, de sorte que l'on remarque dans le même accroissement deux décroissances de sens contraire; ce fait permet de caractériser certaines espèces (peuplier, aune, érable, noisetier); elle semble se manifester sur les arbres dont la floraison précoce précède le feuillage.

Les vaisseaux peuvent être isolés comme dans les arbres fruitiers, ou rapprochés comme dans quelques chênes, ou même groupés par deux ou beaucoup plus. Ces groupes sont tantôt radiaux (érable, peuplier, aune, bouleau, etc.), tantôt plus ou moins obliques ou perpendiculaires au rayon, surtout dans le bois d'automne (orme), tantôt des plus irréguliers (légumineuses, orme, frêne). Ces groupements caractéris-

tiques des espèces sont donc des plus variables, ils permettent de les distinguer; ils ont été utilisés par les botanistes forestiers pour procéder à des classements, ou pour la rédaction de clés dichotomiques permettant de préciser l'espèce d'un échantillon de bois donné, sans avoir recours aux caractères floraux et foliaires généralement utilisés en pareil cas.

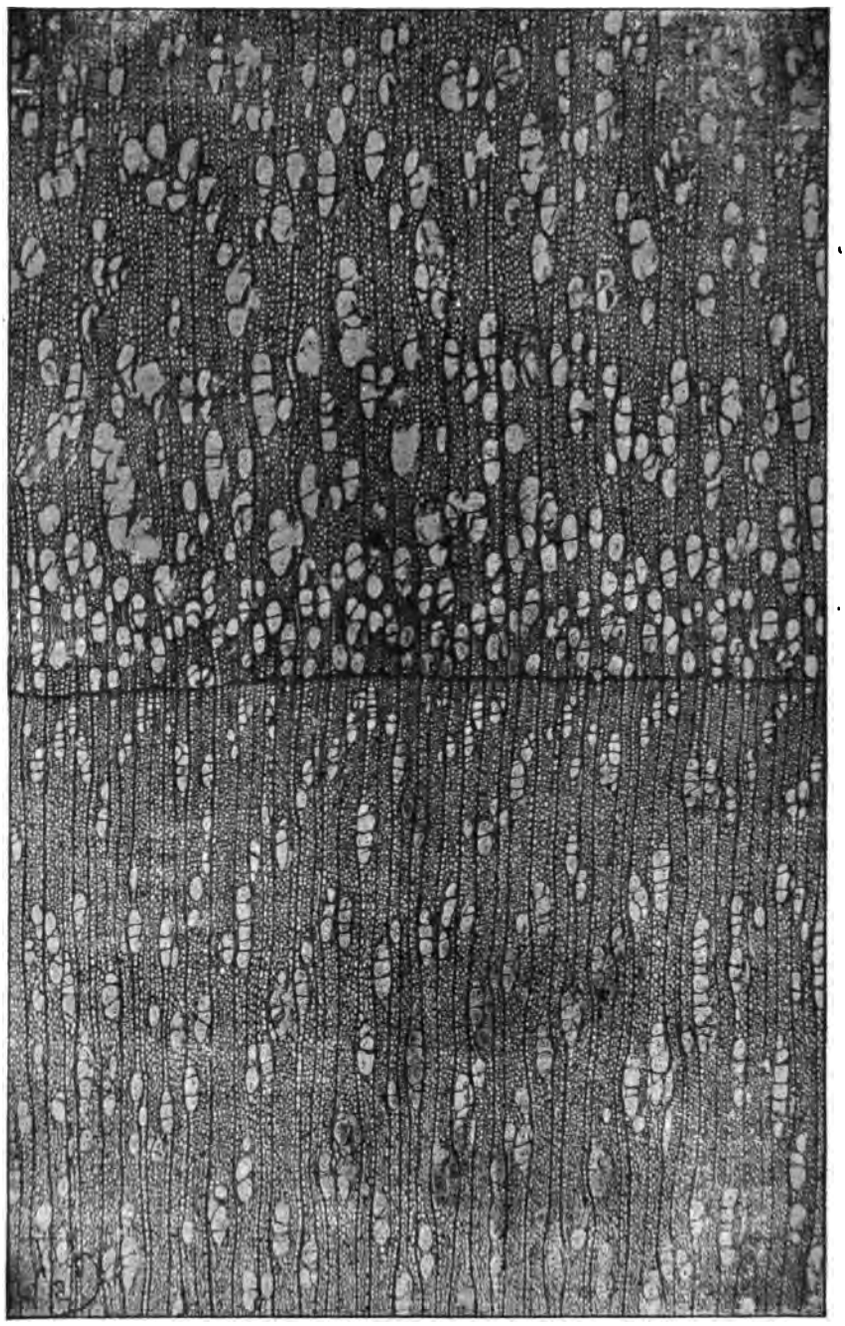


CHÊNE-LIÈGE. (30 diamètres.)
Dimension des vaisseaux : $0^{mm}38$ à $0^{mm}08$.
Section transversale.

CHÊNE ROUVRE. (90 diamètres.)
Dimension des vaisseaux : $0^{mm}30$ à $0^{mm}016$.
Section transversale.

La répartition des vaisseaux dans les bois feuillus est des plus variables; la même espèce peut contenir des vaisseaux isolés et d'autres en groupes plus ou moins nombreux. Souvent ils sont plus nombreux sur le bord interne; cette abondance et l'augmentation de leur diamètre si fréquente sur ce point font qu'il existe souvent dans cette partie une zone de bois plus poreux, pour se servir de l'expression vulgaire. La diminution fréquente des fibres dans cette partie a

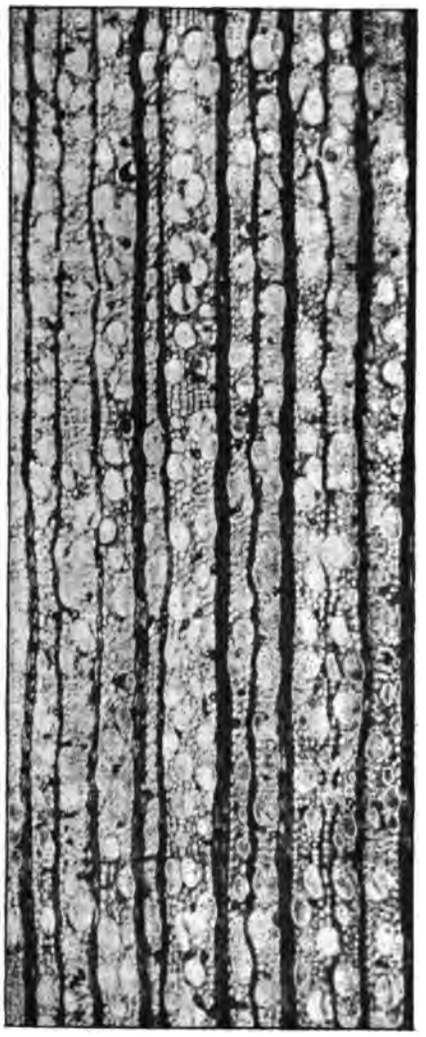
déjà été signalée, et elle vient encore réduire les facultés de résistance du tissu en cet endroit. Cette zone ou ce bois de printemps, contrairement à ce que nous avons signalé pour les résineux, a une largeur qui varie beaucoup moins que le surplus du tissu ou bois d'automne; il en résulte que, à l'inverse de ce qui a été dit pour les résineux, les bois feuillus à croissance rapide sont plus



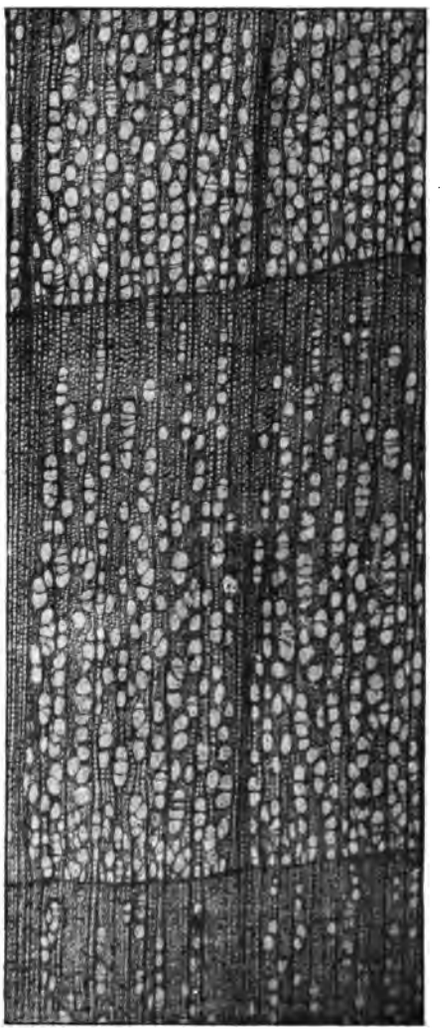
Peuplier du Canada. (30 diamètres.)
Section transversale.
Double décroissance des vaisseaux.

denses que ceux crûs lentement dans les mêmes conditions. Ce fait n'est toutefois pas aussi sensible dans toutes les espèces. Il est surtout remarquable, lorsque la décroissance centrifuge est accentuée, ou lorsque le nombre des vaisseaux varie d'un bord à l'autre d'un accroissement; il est peu sensible lorsque, comme dans le hêtre, le noyer, le buis, etc., ces variations sont peu prononcées.

La répartition des vaisseaux, leur topographie sur une section transversale, suivant l'ex-

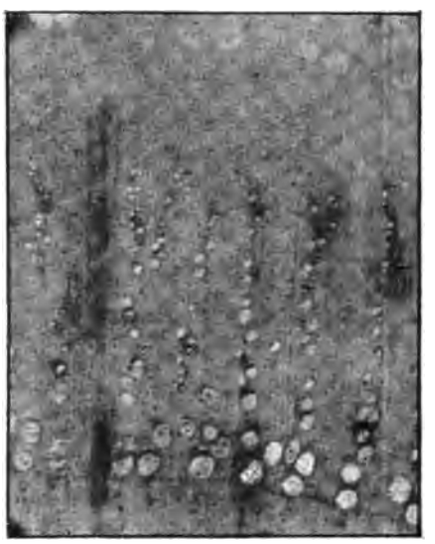


POMMIER COMMUN. (60 diamètres.)
Vaisseaux simples ou isolés.
Section transversale.



AUNE BLANC. (30 diamètres.)
Vaisseaux simples ou groupés.
Section transversale.

Croissance moyenne.

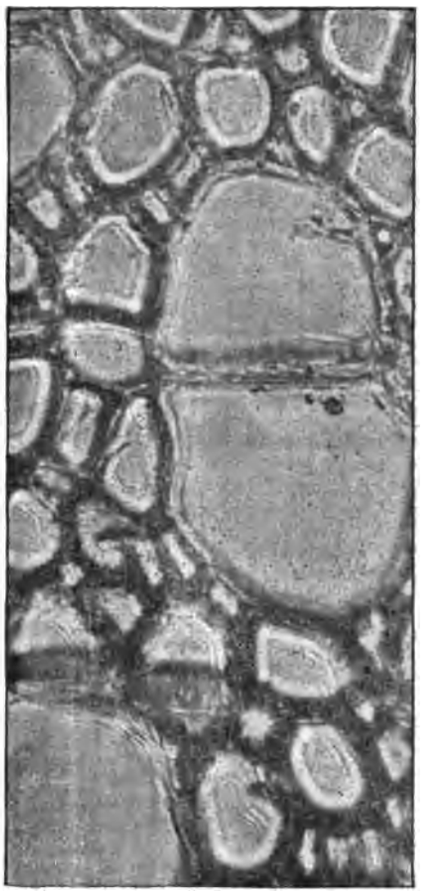


Croissance rapide.

CHÊNE PÉDONCULÉ. (12 diamètres.)
(Section transversale.)

pression quelquefois employée, diffère avec les genres et même les espèces; on les voit sur cette section tantôt dispersés sans ordre dans tout l'accroissement, tantôt sur certaines parties seulement; d'autres fois, ils se localisent dans certains secteurs sur des lignes radiales, ou ils courent de l'un à l'autre sur des lignes ou alignements obliques, sinueux ou courbes, tantôt inclinés dans le même sens, tantôt s'entrecroisant en réseaux des plus curieux. L'obliquité ou les sinuosités de ces alignements varient même dans l'épaisseur du même accroissement. Mais ces descriptions seraient trop longues à faire ici, il suffit de les signaler.

Les vaisseaux destinés à approvisionner les feuilles et bourgeons du bois primaire ont une course plus ou moins flexueuse justifiée par leur rôle dans cette partie de la tige. Mais si l'on considère simplement le bois d'une tige ou bille de bois d'œuvre, ils semblent s'étendre dans le tissu parallèlement à l'axe de croissance. Cette course n'est pas toujours aussi droite qu'on pourrait le croire. Les vaisseaux se composent d'une série de cellules primordiales qui, suivant



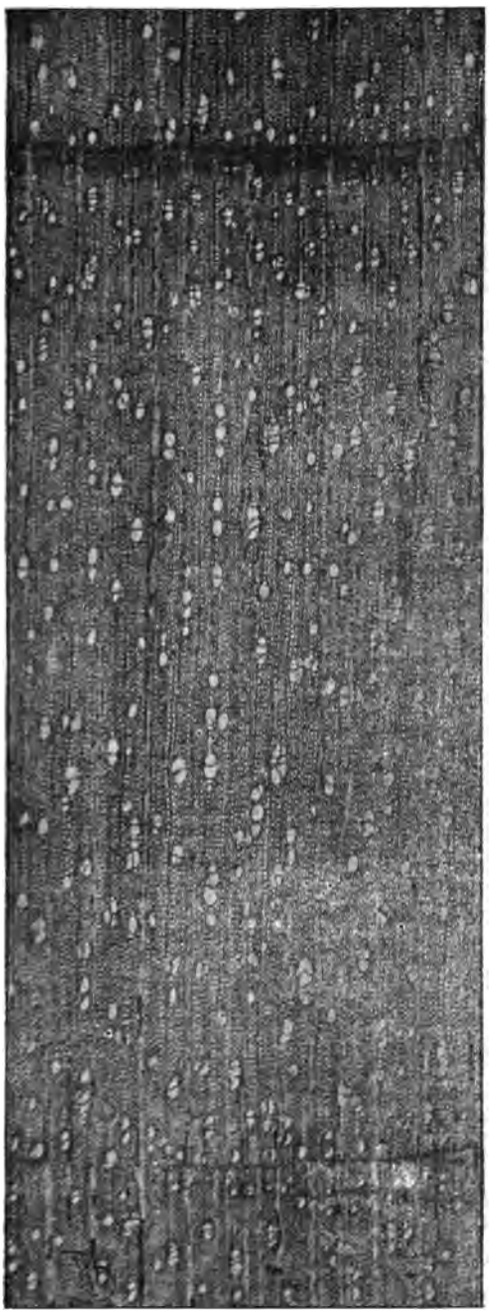
Saule marceau. (600 diamètres.)
(Section transversale.)
Vaisseaux groupés.

Orme champêtre. (30 diamètres.)
(Section transversale.)
Groupes radiaux.

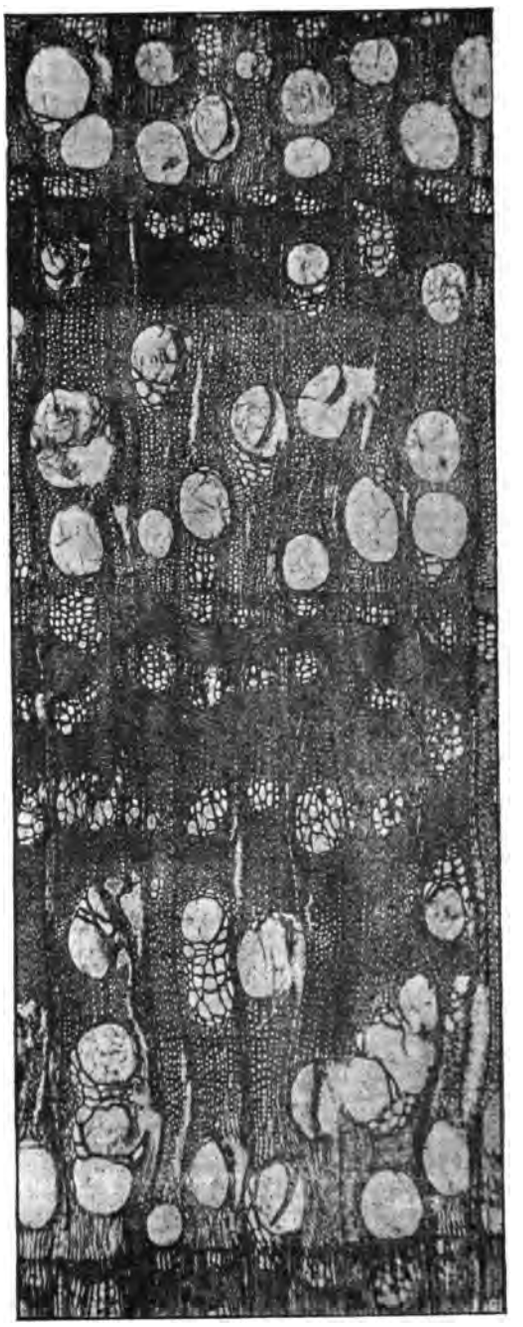
les espèces, se trouvent plus ou moins bien placées les unes au-dessus des autres, de sorte que le canal formé peut être plus ou moins sinueux, dévié même dans certains cas par les plus gros rayons médullaires qui les obligent à s'infléchir pour passer entre eux. Lorsque l'on étudie des vaisseaux groupés, on reconnaît que le nombre et la position respective des éléments primordiaux du même vaisseau peuvent varier dans la hauteur. Enfin la direction générale peut suivre les inflexions générales constitutives ou accidentelles du tissu. (Voir les photographies ci-dessus et entre autres celles représentant les vaisseaux du peuplier et de l'aune grossis de 430 diamètres.)

Au point de vue de la mise en œuvre, la résistance des bois feuillus est modifiée par la grosseur, le groupement individuel, le nombre et la répartition des vaisseaux.

Les vaisseaux forment des vides, et par suite des parties faibles dans le tissu. Cette faiblesse augmente avec la grandeur du vide ou diamètre du lumen et le rapprochement de ces vides, soit que les vaisseaux se groupent individuellement soit que leur nombre augmente.



Érable champêtre. (30 diamètres.)
Section transversale.
Vaisseaux groupés radialement.



Robinier pseudo-acacia. (30 diamètres.)
Section transversale.
Vaisseaux en groupes irréguliers.

Les bois tendres contiennent généralement beaucoup de vaisseaux de diamètre plus ou moins grand et munis de parois faibles (saule pleureur, peuplier noir). Les bois durs (buis, cornouiller, amandier, grenadier, bois de fer, liem), ont des vaisseaux petits et peu nombreux qui ne viennent diminuer que très faiblement la compacité des faisceaux fibreux.

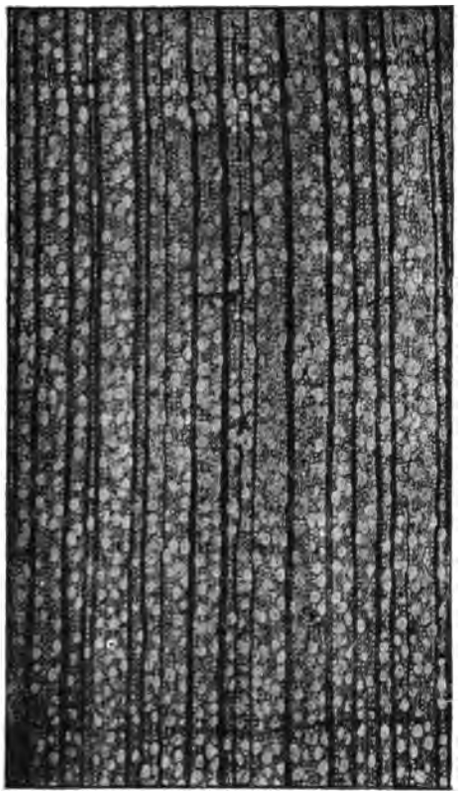
Si la décroissance des diamètres est faible, et la répartition régulière comme dans le buis, le

Croissance très rapide.

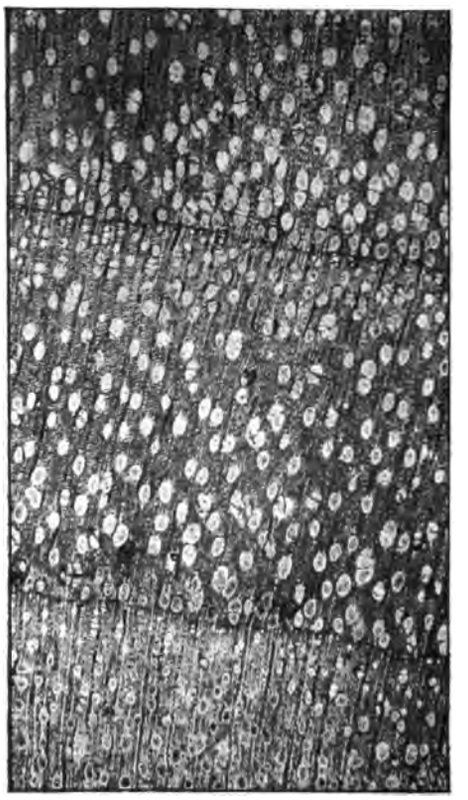
Croissance assez lente.

HÊTRE COMMUN. (90 diamètres.)
(Section transversale.)

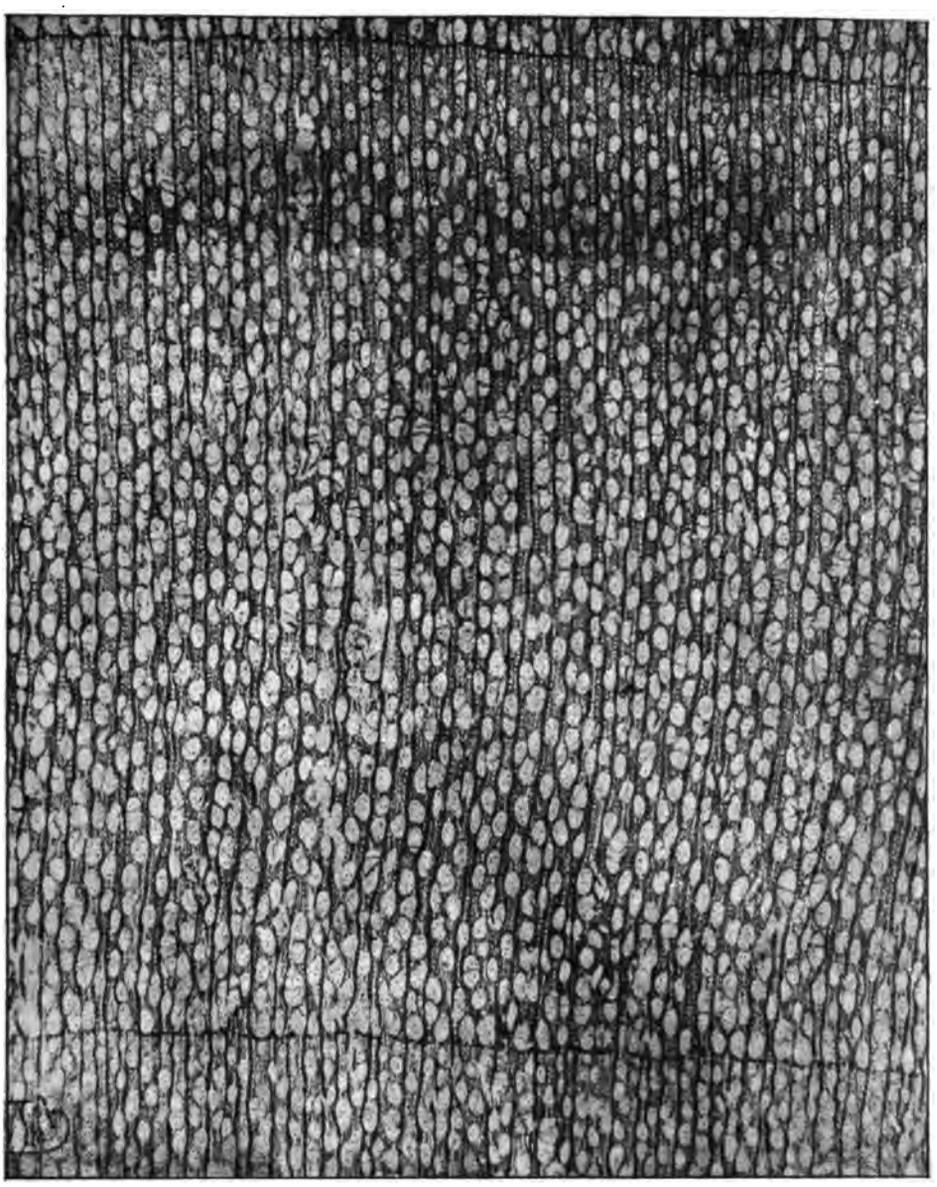
NOYER COMMUN. (30 diamètres.)
Section transversale.
Croissance rapide.



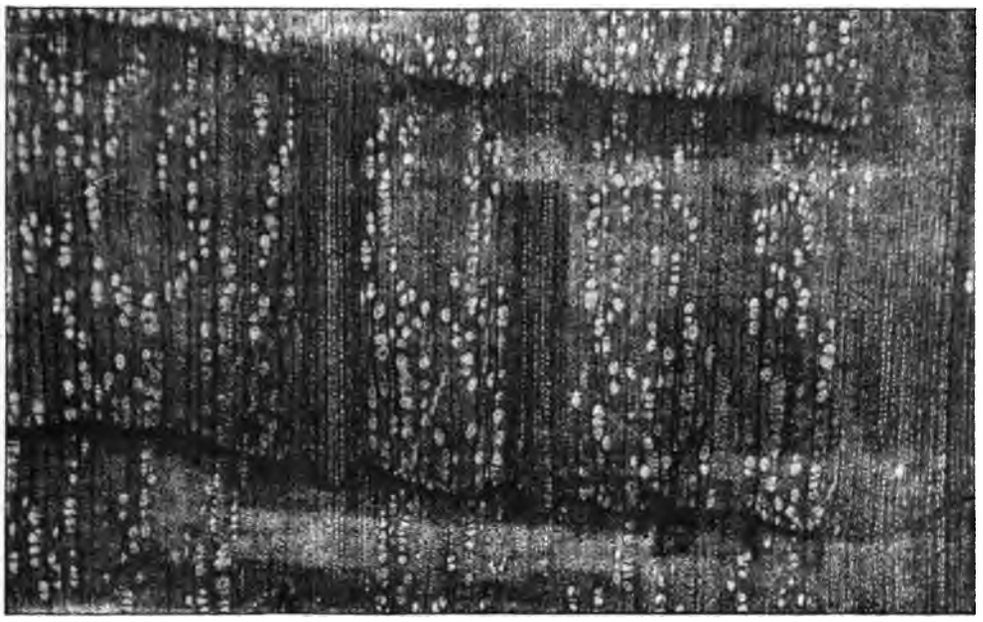
ALISIER TORMINAL. (30 diamètres.)
(Section transversale.)



SAULE DRAPÉ. (30 diamètres.)
(Section transversale.)

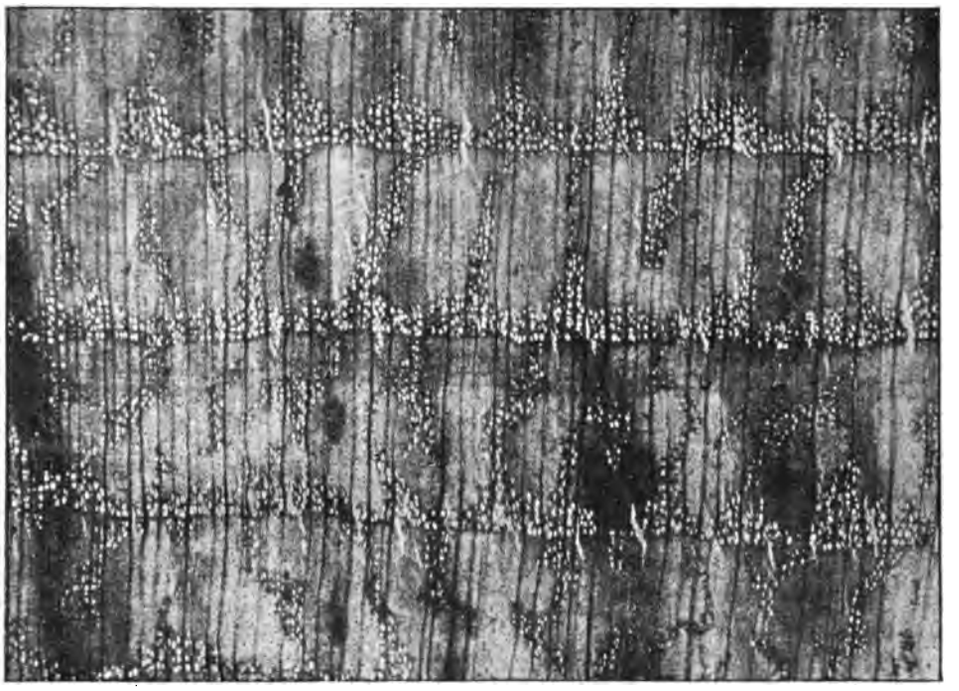


SAULE PLEUREUR (30 diamètres.)



COUDRIER NOISETIER. (30 diamètres.)
Section transversale.

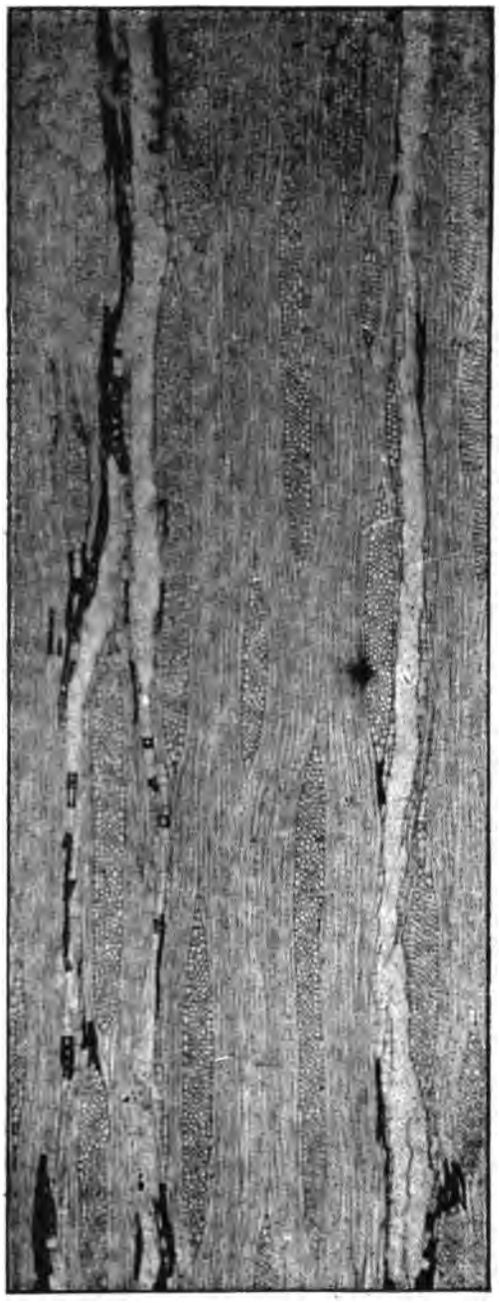
Ajonc d'Europe. (30 diamètres.)



Nerprun purgatif. (30 diamètres.)

citronnier, le hêtre, le noyer, l'alisier, le bois est homogène et résiste également dans toutes ses parties.

Si les gros vaisseaux, ou des vaisseaux très nombreux, sont réunis en zones plus ou moins étroites, et si les petits vaisseaux s'isolent dans les zones plus compactes, comme dans le frêne, le



Mûrier blanc. (60 diamètres.)

Course du vaisseau parallèlement à l'axe de croissance.

chêne, le bois n'a plus d'homogénéité; il se rapproche en quelque sorte de la texture des conifères; il a des qualités qui peuvent le faire classer dans les bois tendres ou dans les bois durs suivant la prédominance de l'une ou l'autre desdites zones. Mais cette disposition contribue généralement à donner de la flexibilité au tissu; car les zones de tissu poreux facilitent la flexion des parties les plus compactes.

La faiblesse des gros vaisseaux est mise en évidence dans le pavage en bois. Elle a obligé à renoncer à l'emploi du bois de chêne pour cet usage, tandis que les bois exotiques, tels que le liem de l'Annam, le jarrah et le karri d'Australie, dont les vaisseaux sont plus étroits, résistent

beaucoup mieux; nous verrons du reste plus loin que d'autres raisons viennent s'ajouter à celle-ci.

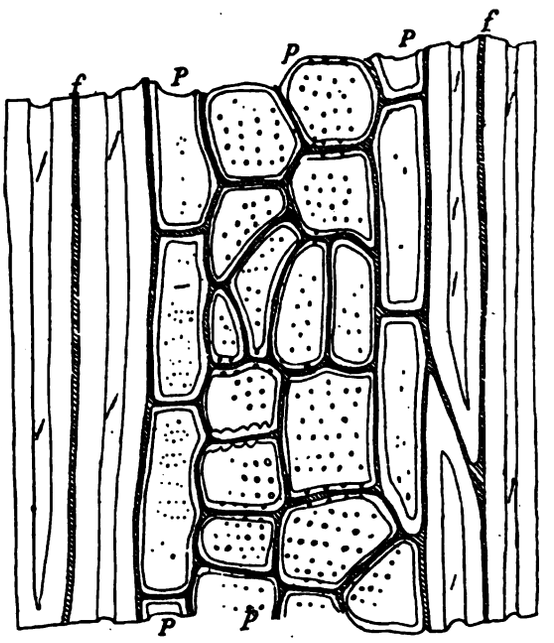
Les vaisseaux étant des tubes capillaires ouverts tout au travers du bois, ils ont une grande importance pour faciliter l'injection des produits antiseptiques dans le tissu; aussi les bois feuillus s'injectent-ils beaucoup plus facilement que les bois résineux.

Dans les questions relatives à la compression et à la traction, les vaisseaux sont des parties faibles dans lesquelles les brisures se développent d'autant plus facilement qu'ils sont composés de portions de parois juxtaposées comme des tuyaux de conduite ajoutés bout à bout. Cette paroi est de plus souvent faible, de sorte qu'elle se sépare ou se déchire facilement.

Parenchyme ligneux ou vertical.

Le parenchyme ligneux apparaît souvent à l'œil nu sur des sections transversales bien nettes sous forme de taches mates plus claires ou plus foncées que le surplus du bois; il affecte deux

FRÊNE DIMORPHE.
(60 diamètres.)
Parenchyme court autour d'un vaisseau.



FRÊNE COMMUN. (430 diamètres.)
p, parenchyme court. P, parenchyme long.
f, fibres.

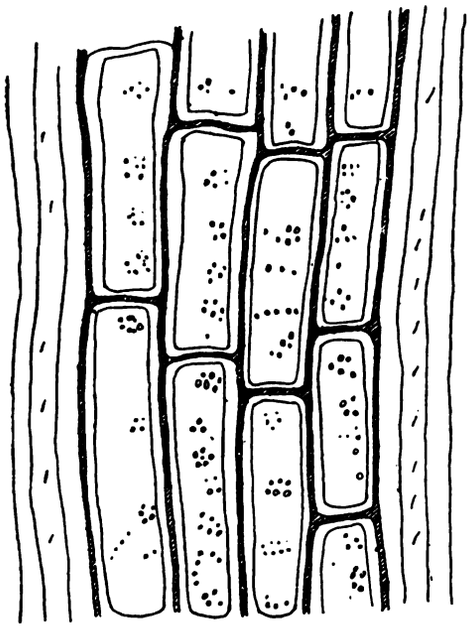
formes distinctes qui peuvent se rencontrer dans le même tissu. Il est formé tantôt de cellules longues, tantôt de cellules courtes, allongées parallèlement à la moelle.

Le parenchyme court est généralement groupé autour des vaisseaux. Il est constitué par des cellules plus ou moins régulières prismatiques ou cylindriques, le plus souvent déformées et écrasées par la pression du vaisseau lors de son développement au début de sa croissance. Les parois de ces cellules sont minces et garnies en tous sens de petites ponctuations ovales ou rondes, toujours plus nombreuses que dans les fibres, surtout dans les parties en contact avec les vaisseaux et les rayons médullaires. Elles sont souvent épaissies et arrondies sur les bords de la ponctuation.

Le parenchyme long est composé de cellules à section longitudinale à peu près rectangulaire, à section transversale généralement ovale ou polygonale avec les angles arrondis. Tantôt les parois sont minces, mais moins que celles du parenchyme court; tantôt elles sont aussi épaisses que celles des fibres dont on les distingue alors difficilement sur la section transversale. Les ponctuations sont plus petites et plus rares que celles du parenchyme court, à moins qu'il n'y

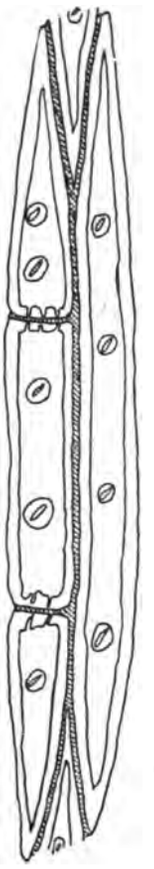
ait contact avec un vaisseau ou un rayon médullaire. Ces ponctuations varient du reste de forme avec les cellules en contact.

Dans les contacts réciproques avec des cellules de même nature, elles forment souvent de petits groupes courbes ou en couronne plus ou moins complète et légèrement ovale. Elles ne



Frêne commun. (400 diamètres.)
(Section tangentielle.)
Parenchyme long.

Cellules cubiques du parenchyme long contenant des cristaux et concrétions. (400 diamètres.)



Parenchyme long aréolé des chênes. (400 diamètres.)

paraissent pas prédisposées à s'allonger en trait comme celles des fibres et des vaisseaux. Le parenchyme long, tantôt entoure le parenchyme court groupé autour de vaisseaux, ou même le remplace, tantôt est disséminé plus ou moins régulièrement dans le tissu comme dans le hêtre ou suivant certains alignements spécifiques comme dans les chênes, frênes, etc. Enfin il peut être groupé en faisceau comme dans l'acacia, l'orme, le mûrier. Ces différentes dispositions peuvent se rencontrer dans le même tissu.

Le parenchyme forme dans la tige de longues files parallèles à la moelle, dans lesquelles les cellules sont séparées par des parois droites ou courbes à peu près perpendiculaires à l'axe de croissance. Dans ces files, il s'intercale quelquefois, dans certaines espèces, des cellules cubiques remplies par des concrétions ou des cristaux spéciaux à ces espèces.

Quelquefois on trouve dans le même tissu tous les intermédiaires entre le parenchyme court et le parenchyme long, puis entre celui-ci et les vaisseaux, de sorte qu'il est difficile de désigner la nature de certains de ces éléments.

Enfin dans diverses espèces, le chêne par exemple, le parenchyme long peut avoir deux formes distinctes : l'une semblable à celle qui vient d'être décrite, et l'autre formée de cellules à ponctuations aréolées. La section longitudinale de ces dernières est tantôt rectangulaire, tantôt, au contraire, mélangée de cellules triangulaires ou fusiformes, de sorte qu'elles semblent constituer un intermédiaire entre le parenchyme et les fibres, et rappellent les trachéides des conifères.

Elles possèdent un autre caractère qui les rapproche encore des fibres, leur épaississement semble spiralé et leurs ponctuations ont une tendance à s'allonger en trait oblique. Ces sortes de cellules sont localisées dans le chêne autour des vaisseaux, elles y sont plus abondantes dans

le bois de printemps où les fibres sont rares. Comme elles sont plus épaissies que le parenchyme ordinaire, elles contribuent à donner plus de résistance à cette partie.

Les lumens du parenchyme renferment suivant sa nature, de l'amidon ou des autres produits ou concrétions. Mais l'amidon disparaît dans le bois parfait pour être remplacé par d'autres

Chêne pédonculé. (430 diamètres.)
(Section radiale.)
P, parenchyme aréolé.
R, rayon médullaire.

Aune glutineux. (430 diamètres.)
(Section tangentielle.)
Parenchyme long.

éléments. Nous reviendrons ultérieurement sur ce fait. Les concrétions, cristaux et matières diverses, remplissent complètement, dans certaines espèces, les lumens qui avec le temps, lorsqu'elles sont solubles ou susceptibles d'endosmose, vont se déverser dans les fibres et vaisseaux voisins. Ce sont ces matières qui colorent ou semblent colorer le parenchyme et le font apparaître parfois à l'œil nu.

Le parenchyme court est certainement la partie la plus faible dans le tissu des bois feuillus, en raison du peu d'épaisseur de ses parois repercées d'un grand nombre de ponctuations et de la forme même de ces cellules.

Le parenchyme long est plus résistant dans certains cas, lorsque ses parois s'épaississent, mais il n'atteint jamais la force des fibres.

Le parenchyme constitue en général une partie moins rigide qui a son importance lors de la dessiccation qui suit l'abatage des arbres; il permet le jeu des fibres ou des faisceaux de fibres et donne de la plasticité au bois qui alors ne se fendille pas lors du retrait radial ou circonférentiel. Ce fait est mis en évidence dans le noyer et le hêtre, où cette répartition se trouve bien disposée pour suivre le retrait. Mais il est nécessaire aussi d'ajouter qu'en raison de sa moindre résistance, c'est souvent sur ce point que dans d'autres bois les fentes se forment.

Le parenchyme diminue aussi la compacité du bois et son abondance amoindrit les qualités de résistance à la compression ou à la traction.

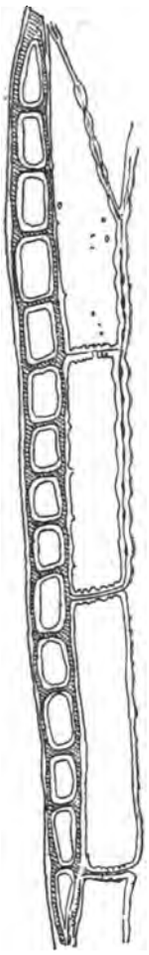
Dans certains cas le parenchyme ligneux peut constituer des canaux sécréteurs rappelant ceux déjà décrits dans les conifères; mais ce fait est plutôt exceptionnel dans les bois feuillus, où les canaux de ce genre sont localisés le plus souvent dans l'écorce ou la moelle.

Ces trois éléments (fibres, vaisseaux, parenchyme ligneux vertical) qui viennent d'être étudiés, constituent à eux seuls les secteurs du bois secondaire allongés parallèlement et radialement à l'axe de croissance. Mais l'un ou l'autre de ces éléments peut manquer dans tout ou partie d'un secteur déterminé; ainsi dans certains arbres, le chêne, le charme, le coudrier, par exemple, on rencontre de plus petits secteurs dépourvus de vaisseaux et des parenchymes courts et aréolés qui les flanquent, et l'on peut dire qu'il y a des secteurs fibreux et des secteurs fibro-vasculaires. Du reste, comme on a pu le voir dans les quelques exemples donnés, les dispositions réciproques de ces éléments sont des plus variables.

Nous allons étudier maintenant les rayons médullaires qui constituent le système cellulaire radial perpendiculaire à celui qui vient d'être examiné.

Rayons médullaires ou parenchyme radial.

La forme et la dimension des rayons médullaires varient beaucoup dans les bois feuillus; leur section transversale est généralement fusiforme, leur largeur varie suivant les espèces de une



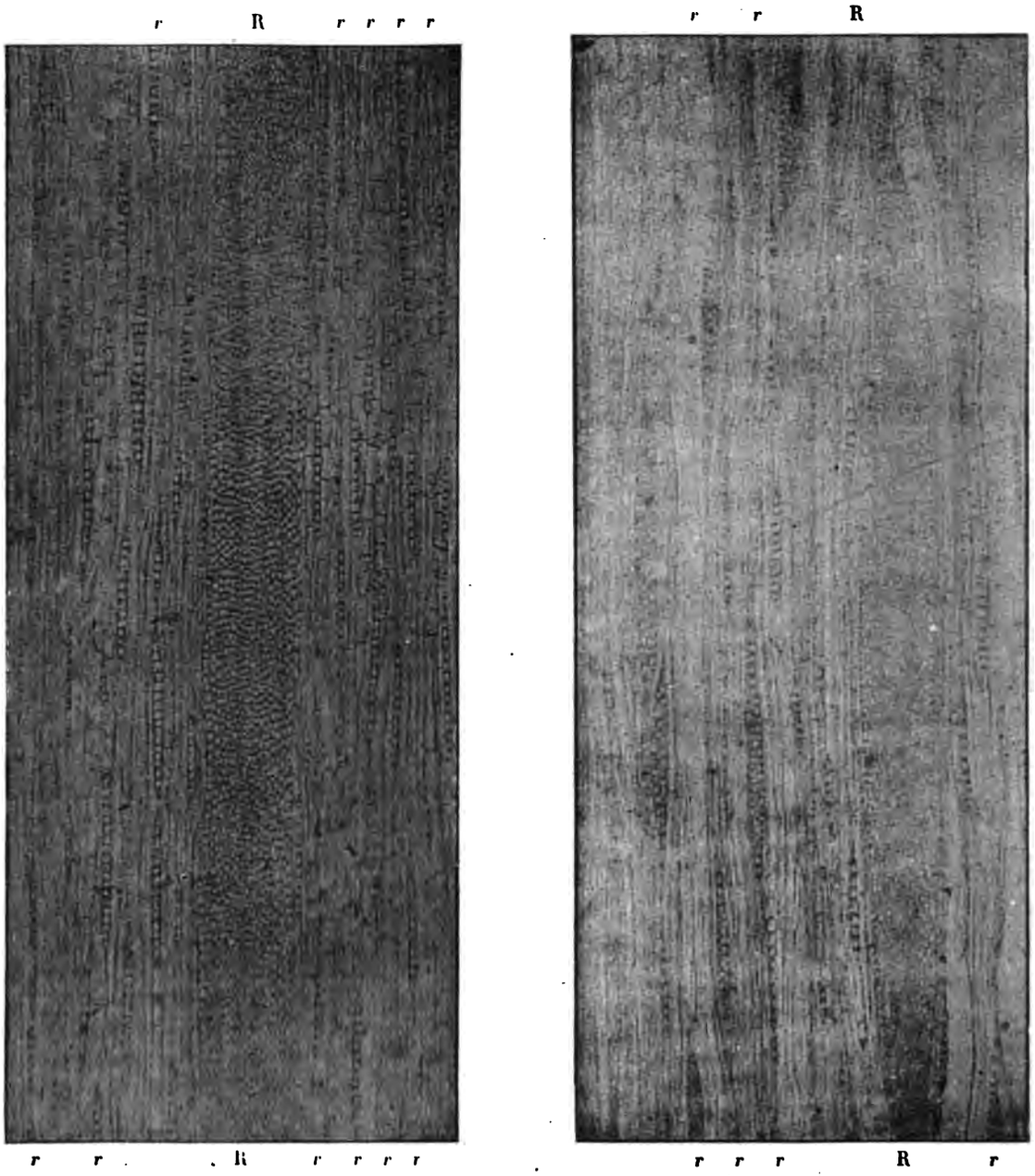
Peuplier noir. (400 diamètres.)

Frêne dimorphe. (30 diamètres.) (Section tangentielle.)

Érable sycomore. (60 diamètres.) (Section tangentielle.)

à plusieurs dizaines de cellules, et leur hauteur de une à plusieurs centaines de cellules; de plus, les groupes dans le même tissu sont d'un nombre variable de cellules, et souvent même peuvent se répartir en petits et grands rayons (frêne, érable, chêne).

Parfois, la section transversale est traversée en écharpe par des fibres ou des files de parenchyme ligneux qui semblent ainsi subdiviser et partager les plus grands rayons; enfin, dans certaines espèces (aune, charme, coudrier), on croit remarquer de gros rayons en mélange avec les petits; mais il n'y a là qu'une illusion que le microscope fait disparaître; dans ces bois il n'existe



CHÊNE PÉDONCULÉ. (90 diamètres.)
(Section tangentielle.)

HÊTRE COMMUN. (90 diamètres.)
(Section tangentielle.)

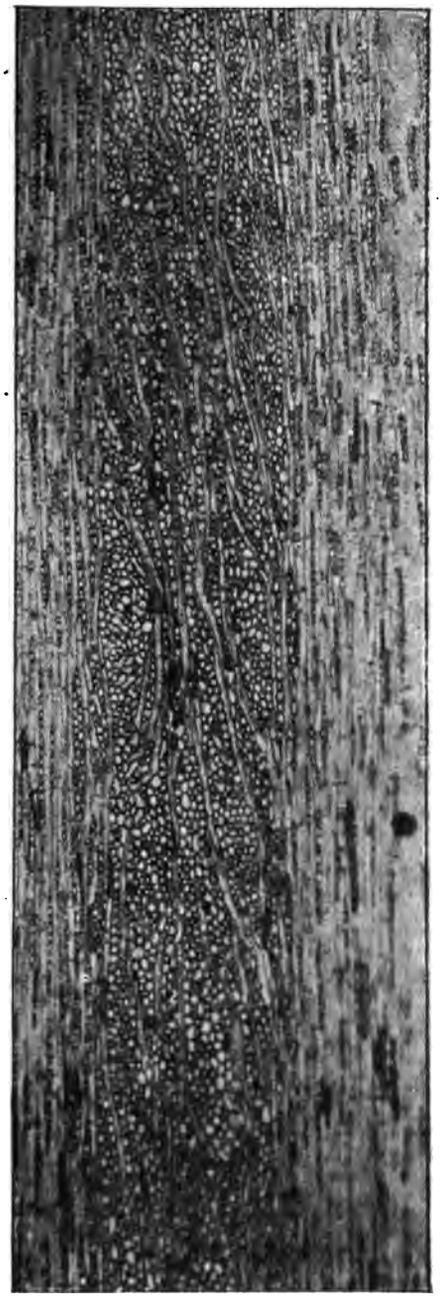
R, grands rayons médullaires. — *r*, petits rayons médullaires.

que des groupes de petits rayons médullaires très rapprochés, séparés par d'étroits secteurs fibreux dépourvus de vaisseaux; ces groupes portent le nom bien impropre de faux rayons qu'il convient de remplacer par celui de rayons groupés.

La disposition des rayons autour de la moelle dans le bois primaire est spiralée comme dans les résineux, mais en raison de la différence de grandeur des rayons et du mélange des uns et des autres, cette disposition est souvent moins apparente; elle le devient encore bien moins, lorsque les rayons intercalaires de toutes grandeurs se sont développés dans les accroissements successifs. Lorsque l'on dépouille de leur écorce certaines tiges comme celles du hêtre commun,

les rayons apparaissent disposés sur des lignes moirées qui ont été utilisées longtemps pour l'impression des soies.

La course radiale du rayon dans le tissu n'a plus la rectitude que l'on a remarquée dans les bois résineux, surtout si l'on considère les plus petits rayons. Les vaisseaux, et principalement



r r r r R r r r r

Chêne kermès. (60 diamètres.
(Section tangentielle.)
R, gros rayons traversés par des fibres.
r, petits rayons.

r r R r

Chêne occidental. (60 diamètres.)
(Section tangentielle.)
R, gros rayons traversés par des faisceaux de fibres.
r, petits rayons.

les plus gros, les dévient et les obligent à les contourner. Ainsi dans le chêne, les petits rayons assez droits dans le bois d'automne où les vaisseaux peuvent être très fins, serpentent et ondulent dans le bois de printemps entre les gros vaisseaux. Cette remarque s'applique à maints autres bois.

Dans le hêtre, on peut signaler un fait qui se reproduit dans d'autres espèces : à la limite de l'accroissement, le rayon médullaire s'élargit et forme une sorte de renflement très nettement

apparent sur la section transversale. Enfin dans certains arbres, pour des causes plus ou moins connues et parfois accidentelles ou spécifiques, les rayons, au lieu d'avoir une direction droite suivant un rayon du cylindre, forment une courbe depuis la moelle jusqu'à la périphérie de la tige. Ce fait est fréquent dans le charme dont la tige est cannelée au lieu d'être ronde et dans

COUDRIER COMMUN. (60 diamètres.)

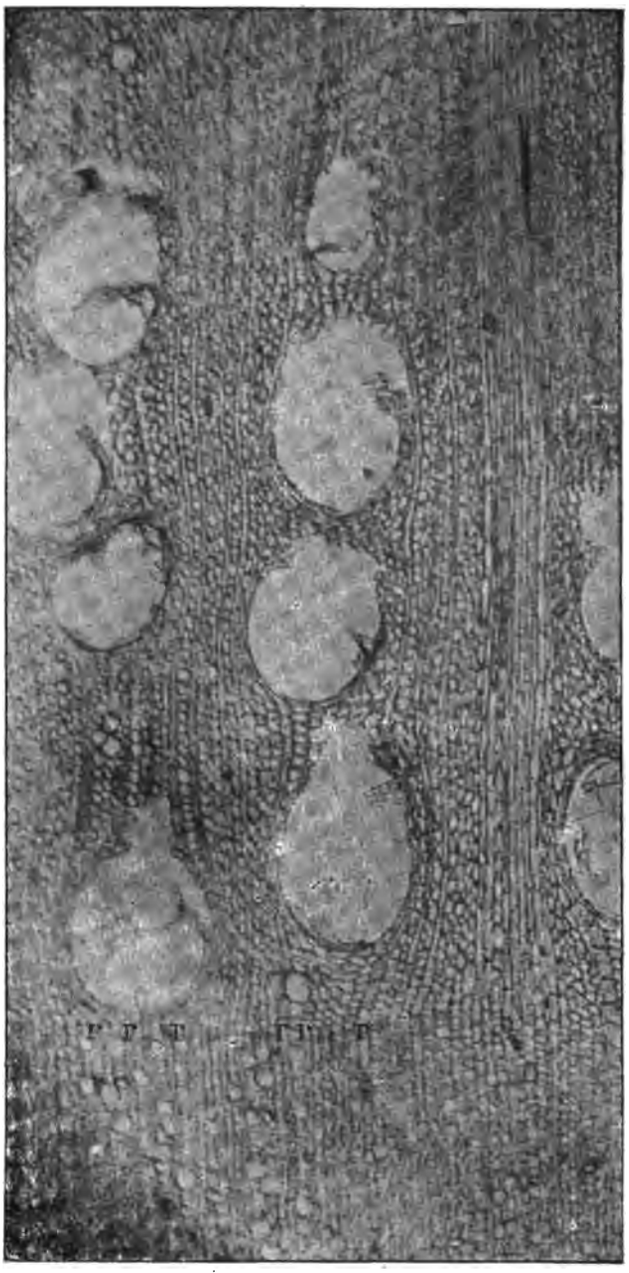
R, faux rayons ou groupe de petits rayons médullaires, rayons groupés.
r, petits rayons.

la partie basse des arbres que l'on appelle vulgairement l'*empatement*, pourvue très souvent de parties saillantes qui correspondent aux racines les plus fortes et les plus nutritives.

La proportion entre le tissu des rayons médullaires et celui des secteurs est aussi des plus variables, comme on peut s'en rendre compte en examinant des photographies déjà données ci-dessus. Dans certains bois, le platane par exemple et le tamarix, le parenchyme radial peut occuper le 1/3 ou les 2/5 du tissu.

Cette proportion a une grande importance dans les questions de résistance, car avec elle la quantité de cellules parenchymateuses, c'est-à-dire de moindre résistance, diminue ou augmente

au détriment des fibres, tissu de grande résistance. Ainsi le hêtre est beaucoup plus résistant que le platane formé d'éléments semblables et à peu près semblablement disposés dans les secteurs, parce que les rayons médullaires n'atteignent que la proportion de 1/6 du tissu dans le hêtre, tandis que cette proportion est plus que doublée chez le platane.



r r r r

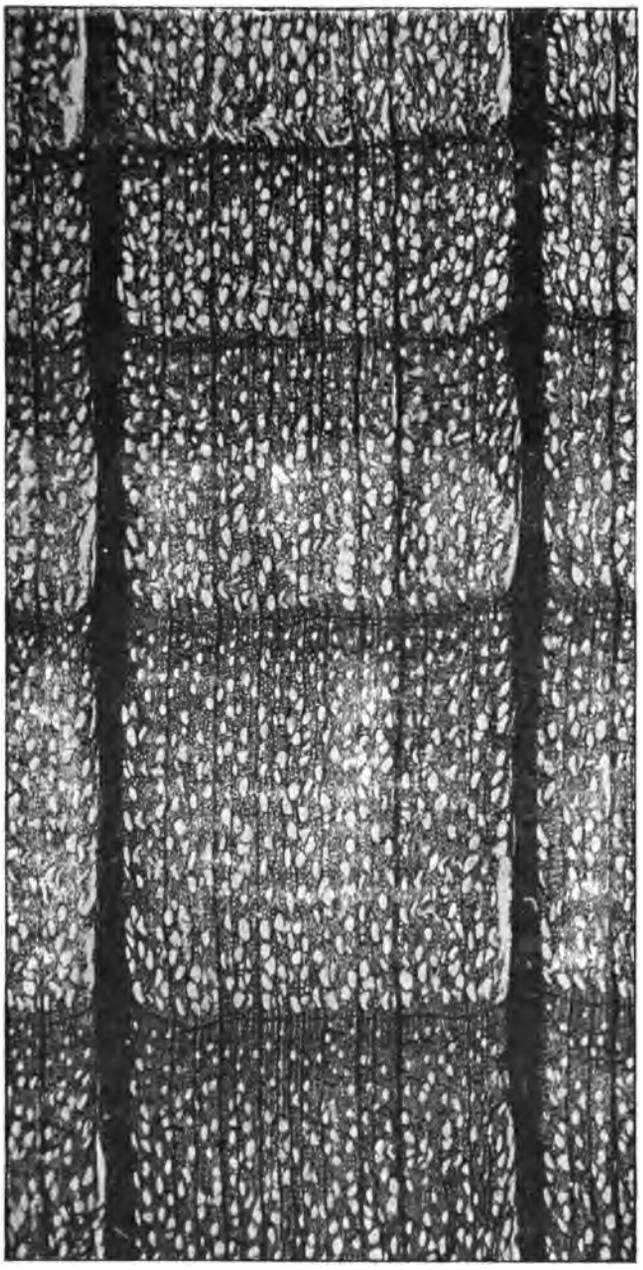
CHÊNE PÉDONCULÉ. (90 diamètres.)
(Section transversale.)
r, rayons déviés par les vaisseaux.

Le plus souvent, on rencontre dans les rayons médullaires les deux sortes de cellules signalées dans les conifères et formant de longues files radiales. La dimension de ces cellules, l'épaississement de leurs parois, leurs ponctuations varient avec les genres et les espèces.

Dans le même rayon médullaire, les cellules extrêmes ou à cristaux sont le plus souvent irrégulières et à paroi mince, celles du centre ou à amidon, plus régulières et à paroi plus épaisse.

Dans les rayons très épais comme dans le hêtre, il arrive souvent que les files radiales des cellules du centre ou à amidon ont une section longitudinale moins rectangulaire; elles sont ventrues, fusiformes ou présentent tous les intermédiaires entre la section rectangulaire et la section des fibres dont elles semblent se rapprocher et dont elles peuvent avoir alors à peu près la valeur dans les questions de résistance.

On rencontre aussi dans ces rayons des cellules presque cubiques intercalées dans les files et remplies de concrétions ou cristaux divers. Très souvent les lumens des autres cellules sont remplis dans les bois mis en œuvre de concrétions diverses qui peuvent combler complètement la cavité et faciliter ainsi la résistance à diverses actions ou forces.



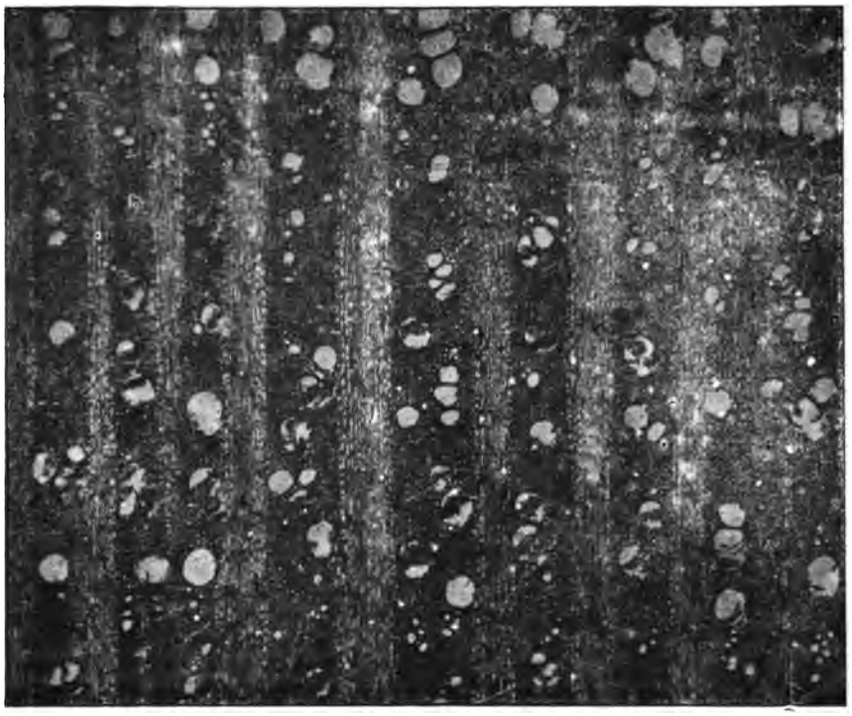
HÊTRE COMMUN.
(Section transversale.)
Rayons élargis sur les limites de l'accroissement.

Comme les sections des cellules sont le plus souvent ovales ou de formes arrondies, on retrouve soit sur les flancs du rayon, soit à son intérieur les petits méats intercellulaires déjà signalés chez les conifères et formant des plans de moindre résistance.

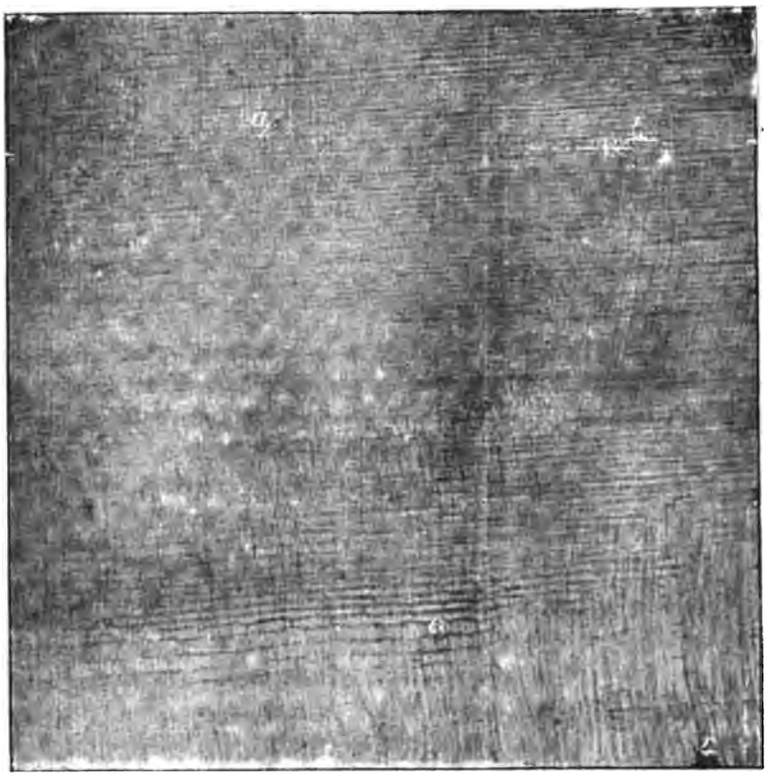
La largeur du rayon oblige le tissu voisin à s'infléchir assez fortement autour de lui, aussi le grain ou tissu des bois feuillus est, dans la plupart des cas, moins droit que celui des résineux. Cette disposition doit diminuer la résistance à la compression parallèle aux fibres, puisque la flexion des fibres existe déjà dans le tissu, on le constate du reste dans les expériences de laboratoire, et les résineux sont reconnus pour cette raison comme de bien meilleurs poteaux de soutien que les feuillus.

Il n'en est pas de même pour la compression perpendiculaire à l'axe; les bois feuillus résistent

mieux dans ce sens par suite de la plus grande résistance des rayons à cellules plus épaissies et l'absence pour quelques-uns d'entre eux d'une zone de printemps bien différente comme com-



TAMARIX D'AFRIQUE. (30 diamètres.)

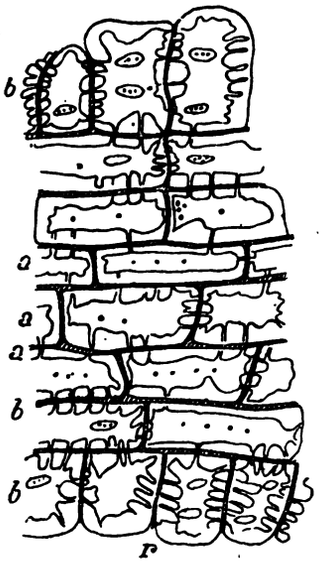


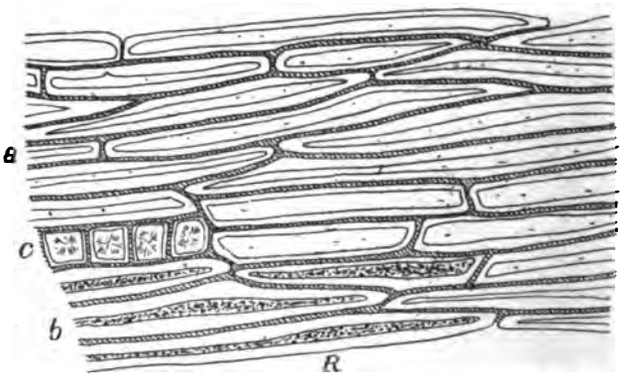
HÊTRE COMMUN. (90 diamètres.)

R, grand rayon,
r, petit rayon médullaire.
c, cellules à cristaux.
a, cellules à amidon.

pacité. Le hêtre est pour cette raison égal ou supérieur au chêne lorsqu'on l'utilise comme traverse de chemin de fer.

Pour le pavage en bois, la grande dimension des rayons est un inconvénient, car elle présente à l'usure par le roulage des voitures de plus grandes parties garnies de cellules tendues paral-

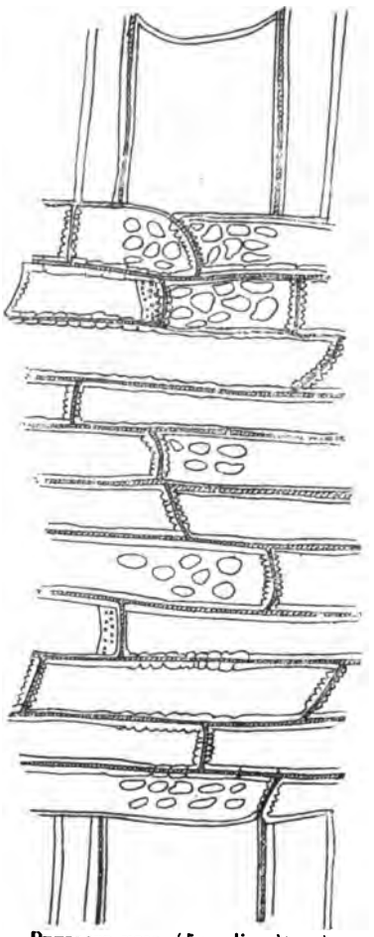




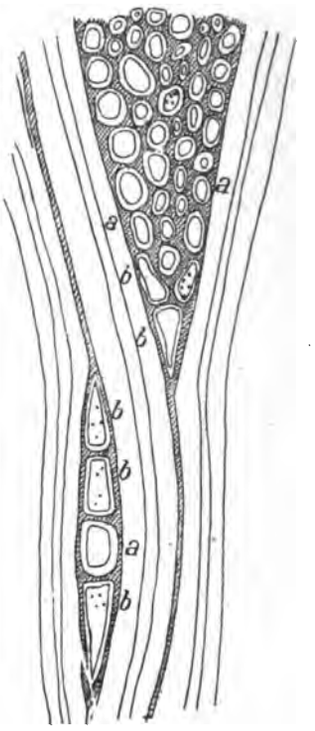
Hêtre commun. (300 diamètres.)
(Section radiale.)

r, petit rayon.
a, cellules à amidon.
b, cellules extrêmes.

B, partie d'un gros rayon.
a, cellule à amidon.
b, les mêmes remplies de concrétions diverses.
c, cellules cubiques remplies par un cristal.



Peuplier noir. (500 diamètres.)
(Section radiale d'un rayon médullaire.)



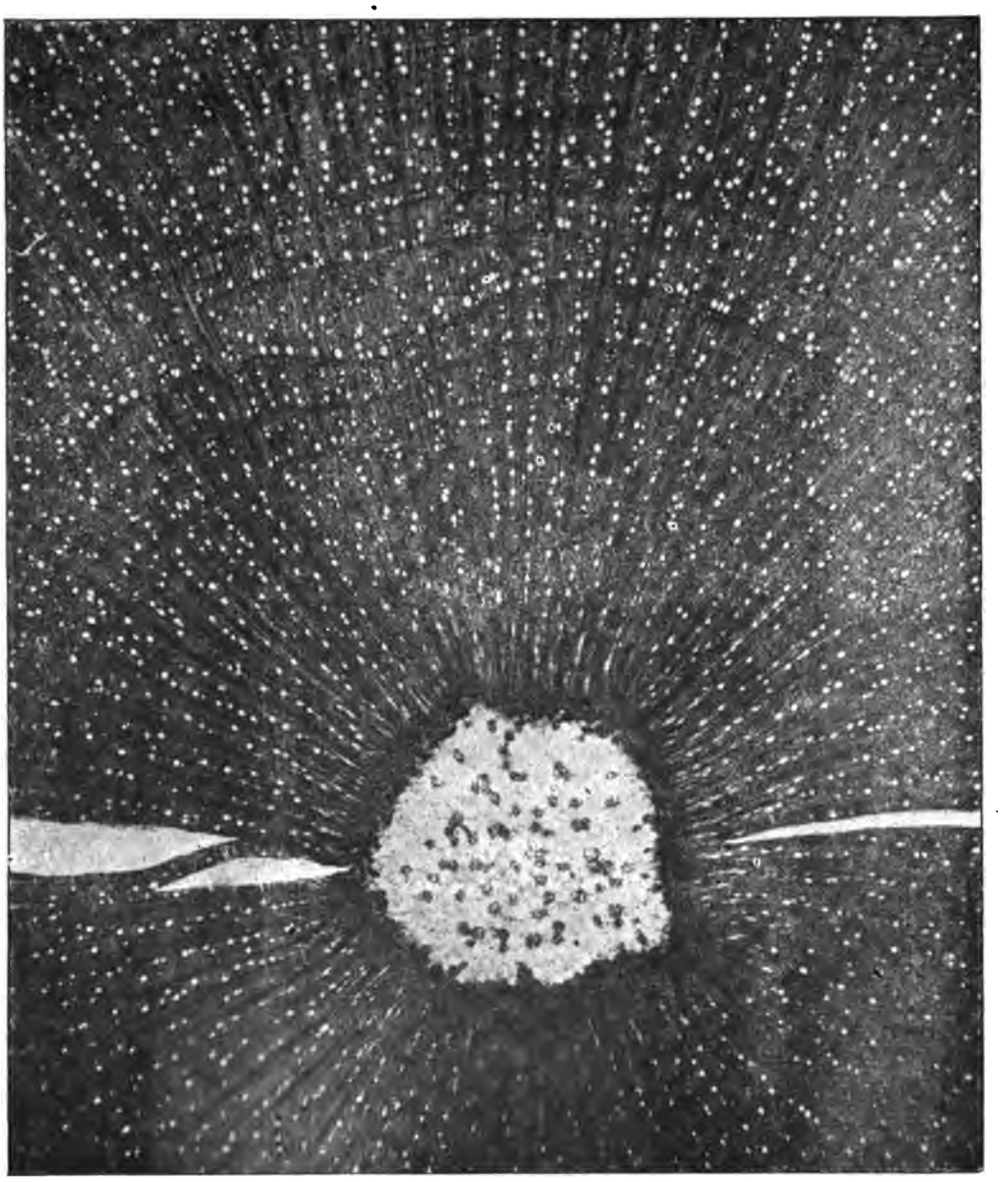
Hêtre commun. (300 diamètres.)
(Section radiale.)
a, cellules à amidon 1re sorte.
b, cellules à cristaux 2e sorte.

lèlement à la surface de la voie, et par là même plus exposées à disparaître par suite des chocs (voir plus loin le schéma de l'usure du pavage); ces mêmes chocs obligent les cellules voisines

qui n'ont plus de soutien à s'incliner dans le vide ainsi produit et par suite à se séparer les unes des autres.

Dans les échantillons de bois feuillus soumis à la compression et examinés au Laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, on retrouve la même surface de rupture, d'inclinaison variable par rapport aux rayons médullaires signalée pour les conifères; la même cause existant, le même effet devait être produit.

Le rayon soutient encore ici le tissu pendant le retrait consécutif à la dessiccation; la différence



SPIRÉE À FEUILLE DE MILLEPERTUIS. (30 diamètres.)
Fente produite par le retrait circonférentiel et longeant des rayons médullaires.

entre les retraits dans les trois sens existe encore, mais le retrait circonférentiel est souvent beaucoup plus considérable en raison de la présence des vaisseaux et du parenchyme dans les secteurs. Les déchirements qui se produisent dans les tissus se font presque toujours le long des rayons ou des groupes de parenchyme vertical, comme il a déjà été dit.

Nous avons vu pour les résineux que les bois débités sur maille se déformaient moins dans les ouvrages que ceux débités tangentiellement aux accroissements. Il en est de même pour les bois feuillus; l'intérêt de ce débit est même plus grand pour ceux-ci qui tirent encore plus à cœur suivant l'expression vulgaire déjà expliquée. De plus, lorsque ces bois sont pourvus de gros rayons, ce débit a pour lui encore l'avantage de fournir une plus belle marchandise. Ces rayons forment sur la face vue des planches débitées sur des *mailles* taches irrégulières plus

ou moins grandes (appelées *mailles* par les ouvriers), soit plus claires, soit plus foncées, soit plus ternes, soit plus nacrées ou brillantes qui ornent élégamment les ouvrages en bois de chêne, frêne, platane, etc.

CHÊNE.

Débit ordinaire parallèle à l'axe de croissance.
(Grandeur nature.)

CHÊNE.

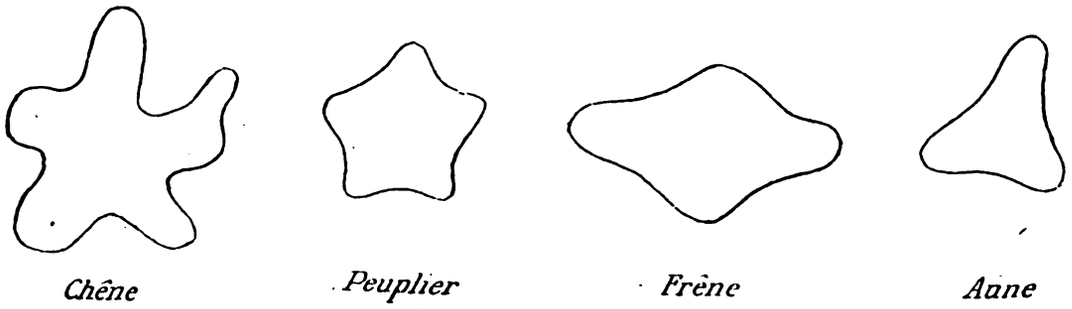
Débit sur mailles.
(Grandeur nature.)

Les rayons médullaires ont une influence considérable sur le débit en fente. Leur rapprochement sur des plans verticaux, leur hauteur, leur rectitude, la régularité de leurs dispositions facilitent cette opération. Ces diverses causes jointes à leur peu de largeur qui entraînent avec elles la rectitude du tissu voisin, font du châtaignier et du chêne de forts beaux bois de fente. Elles permettent aussi le débit de l'alisier en fines lames pour les éventaillistes, du coudrier en lanières minces pour les vanniers, etc. Dans ce dernier même, des plans de parenchyme vertical heureusement disposés permettent de refendre perpendiculairement ces lanières en petites brindilles qui permettent de tisser les ouvrages les plus délicats.

Moelle.

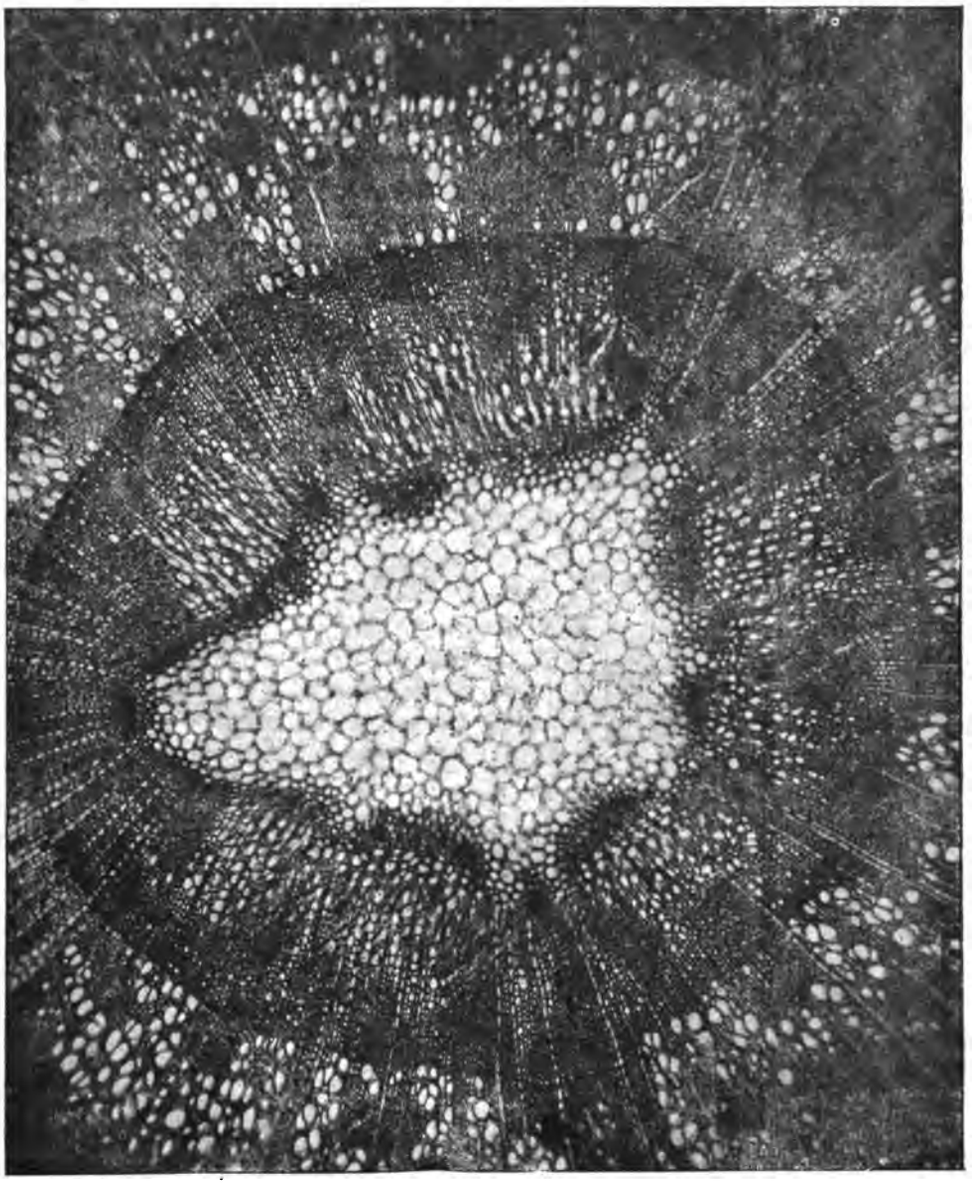
La moelle forme dans les feuillus comme dans les résineux, le centre du bois primaire. Le diamètre du cylindre médullaire varie avec les espèces; il est proportionnel à la pousse primaire qui sort des bourgeons, plutôt qu'à la grosseur même de ces bourgeons; ainsi la moelle

du sureau est plus volumineuse que celle du marronnier d'Inde dont le bourgeon est cependant plus gros. Sa section varie beaucoup et permet quelquefois de distinguer une espèce d'une autre



FORME DE LA MOELLE.

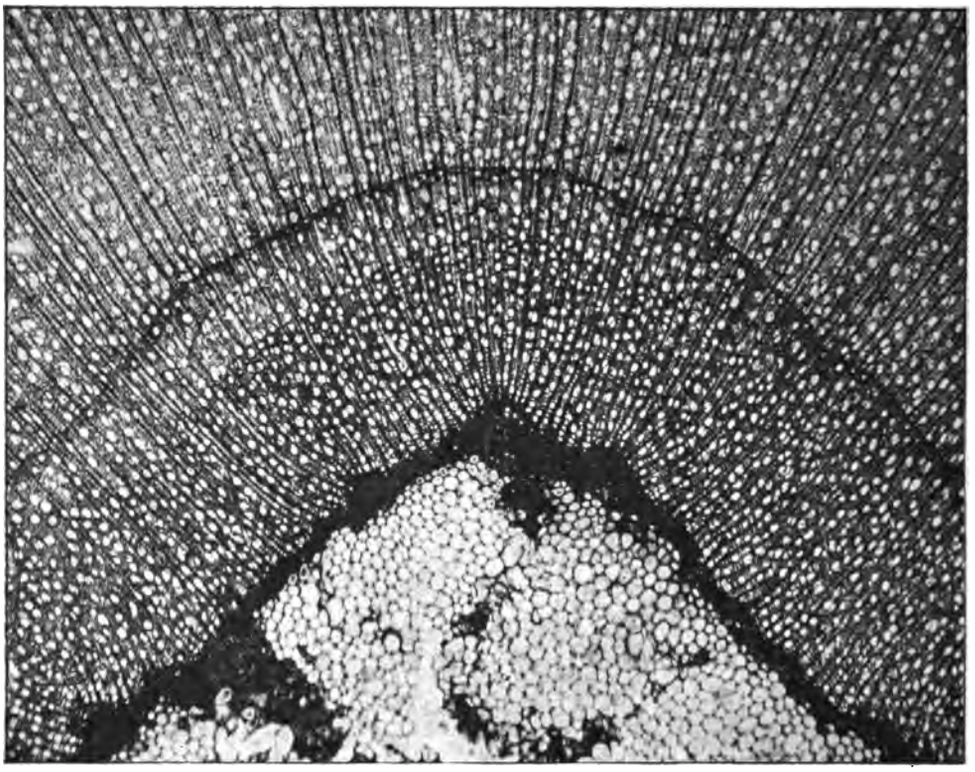
Ainsi la moelle du chêne est en forme d'étoile, celle du peuplier est pentagonale, celle du frêne quadrangulaire, celle de l'aune triangulaire.



MOELLE DE L'AJONC NAIN. (60 diamètres.)

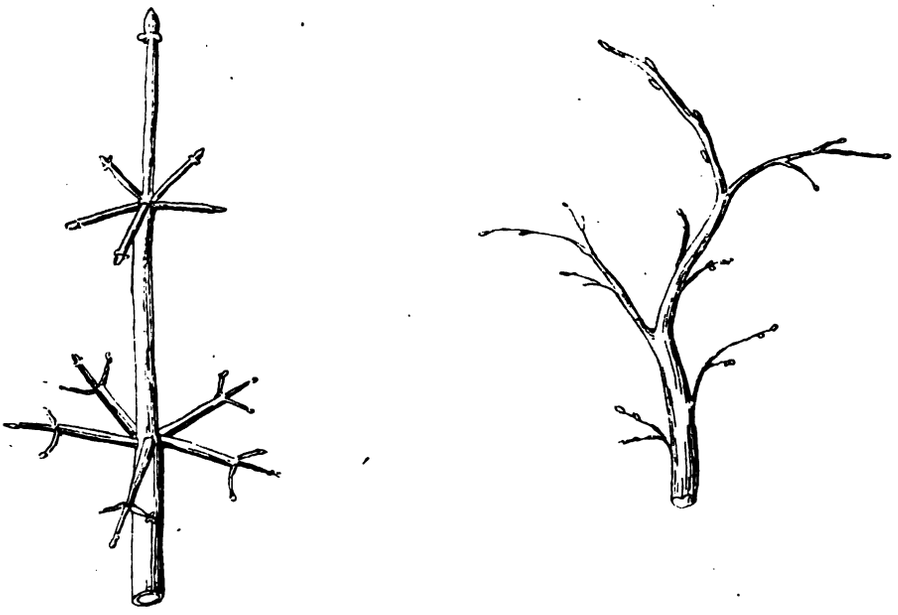
La direction de la moelle au centre de la tige n'est plus aussi régulière dans cette classe que dans la précédente. Ce fait provient de la croissance en hauteur qui ne s'opère pas de la même

manière. Dans les conifères susceptibles de fournir du bois d'œuvre, l'allongement de la tige se produit par le bourgeon terminal placé verticalement au-dessus de celui qui a produit le rameau terminal de l'année précédente. Ces rameaux sont de plus très rigides et prennent une direction



MOELLE A SECTION CARRÉE DE LA VIORNE OBIER. (30 diamètres.)

très verticale. Sauf rupture de l'un de ces rameaux par une cause fortuite, leur succession annuelle est donc une verticale. Les rameaux latéraux ont de plus une direction presque horizontale et sont placés symétriquement en verticille; cette situation ne leur donne aucun avan-

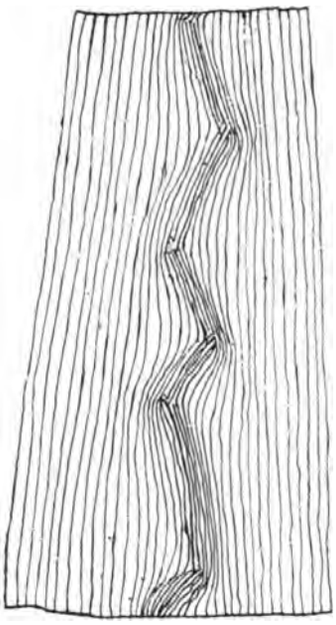


tage pour s'alimenter; la flèche bien éclairée et dominante attire à elle toute la sève et ne laisse pas prendre sa place par les ramifications latérales placées dans des conditions de végétation moins favorables.

Dans les bois feuillus, le rameau terminal n'est pas aussi rigide, il n'a pas une direction aussi verticale, il émet ou peut émettre un rameau à l'aisselle de chacune de ses feuilles dans une direction plus ou moins relevée, la sève s'y rend donc plus facilement; pour peu que ce rameau soit au-dessus d'une courbe et bien éclairé, il attire à lui une plus grande quantité de sève et devient dominant. Plusieurs rameaux peuvent agir ainsi, vivre de compagnie pendant plusieurs années jusqu'au moment où l'un d'eux devient pour une cause quelconque dominant et forme définitivement le *tronc* ou *fût* proprement dit de l'arbre; mais ce fût à ce moment est, forcément, plus ou moins sinueux. L'ascension et la descente de la sève, qui ont une tendance à se faire en ligne droite, viennent ensuite corriger cet état et former un fût aussi droit que la nature de l'arbre le permet. Parmi les arbres français le chêne établit ainsi son fût, et souvent un jeune plant ou *baliveau* crochu, abîmé par des gelées printanières est l'origine d'un arbre à fût très droit.

Le cœur qui renferme cette partie sinueuse voisine de la moelle doit être extrait avant d'utiliser cet arbre à un ouvrage soigné. Les conditions de résistance de cette partie tortueuse ne sont pas les mêmes que celles du surplus de la tige, et si elle est débitée en planches, la fibre se trouve coupée en tous sens par le trait de scie et ne peut être travaillée dans de bonnes conditions.

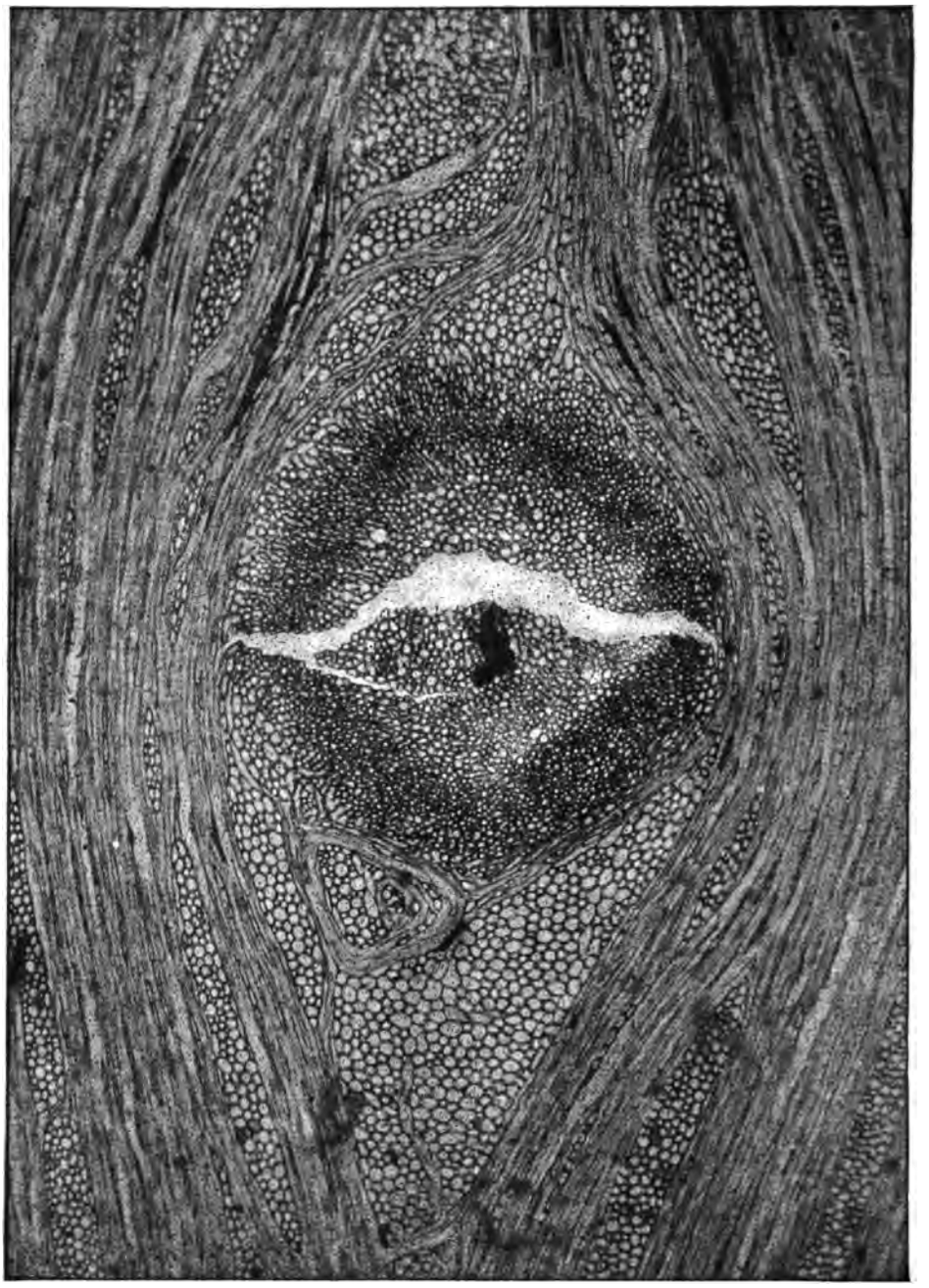
Cette moelle, dont la fonction physiologique cesse après la période de croissance en longueur des rameaux, se dessèche ou se contracte, disparaît même parfois pendant la vie de l'arbre, laissant à l'intérieur du bois un petit canal vide, un tissu fissuré ou non par lequel les infiltrations aqueuses ou mycologiques, les invasions d'insectes se produisent facilement, lorsqu'une branche vient à se briser; or ce fait est beaucoup plus fréquent chez les bois feuillus plus riches en branchages que les conifères. De nombreux défauts et tares sont occasionnés par cette cause.



SECTION D'UNE TIGE SINUEUSE REDRESSÉE PAR LA CROISSANCE.
(Bois de chêne pédonculé dans les terrains humides et sujets aux gelées printanières.)

La moelle est constituée par des cellules plus ou moins régulières, courtes, à paroi mince, garnies de ponctuations comme dans les résineux; parfois on remarque dans certaines espèces une petite différenciation des cellules sans importance bien notable au point de vue de l'emploi des bois d'œuvre. Elle constitue avec les vaisseaux spiralés, scalariformes ou annelés et quelques fibres disposées à sa périphérie, le bois primaire autour duquel un peu de bois secondaire proprement dit vient presque toujours se former pendant la première période de croissance. Ce premier accroissement est pour cette raison toujours différent des suivants; il est moins forte-

ment constitué qu'eux pour la résistance. Les rayons médullaires nombreux disposés en spirale tout autour de lui sont des points faibles auprès desquels les fentes se produisent et se propagent



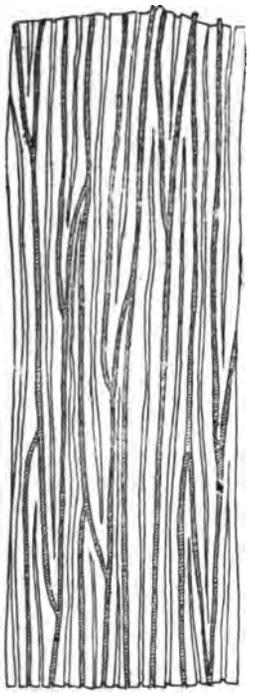
MYRICA GALLÉ. (60 diamètres.)
Moelle d'un rameau fendue à l'intérieur de la branche.

facilement lors de la dessiccation. Il convient donc de faire disparaître pour cette nouvelle raison cette partie des pièces destinées à des ouvrages soignés.

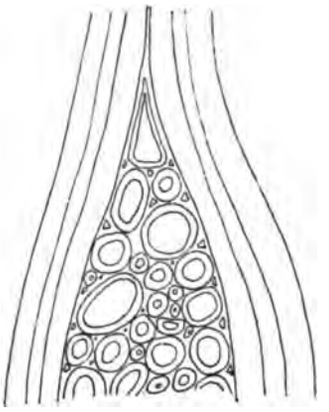
Matière intercellulaire.

La matière intercellulaire ou conjonctive existe dans les bois feuillus ; on l'y reconnaît souvent sur des sections minces vues au microscope, par suite d'une différence de nuance existant entre elle et les parois des cellules voisines. Les interstices entre les cellules plus petites (vaisseaux exceptés) sont généralement très étroits et l'épaisseur de cette matière est par suite plus faible que dans les résineux. Une conséquence de cet état de choses est la rareté des méats qui sont, pour ainsi dire, localisés sur les flancs des rayons médullaires ou dans les faisceaux de parenchyme vertical lorsqu'il en existe, et lorsque la section de ces cellules est arrondie.

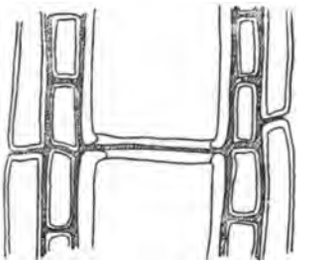
La résistance de cette matière peut varier avec les espèces, mais elle garde la friabilité déjà reconnue. Cette friabilité varie peut-être même avec la nature des cellules voisines, car les faisceaux de fibres paraissent plus fortement agglutinés que les autres éléments dans certains bois. Il faut remarquer que cette résistance peut tenir à la nature même des fibres dont les parois sont fortement épaissies, et même à la façon dont leurs faces polyédriques s'appliquent les unes contre



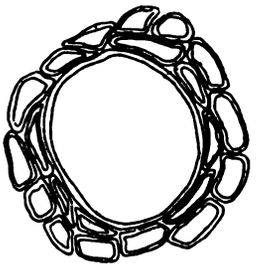
MATIÈRE INTERCELLULAIRE dans un faisceau de fibres. (Section tangentielle.)



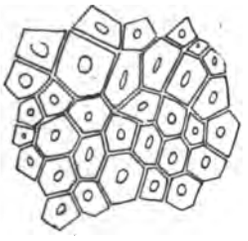
MATIÈRE INTERCELLULAIRE dans le rayon médullaire. (300 diamètres.)



MATIÈRE INTERCELLULAIRE autour des vaisseaux et parenchyme. (Section tangentielle, 300 diamètres.)



MATIÈRE INTERCELLULAIRE autour des vaisseaux et parenchyme court. (Section transversale.)



MATIÈRE INTERCELLULAIRE dans un faisceau de fibres. (Section transversale.)

les autres; enfin même à la disposition de leurs extrémités dans les faisceaux où elles s'entremêlent les unes aux autres sans former de plan de rupture comme il en existe avec les autres cellules.

La matière intercellulaire agit ici de la même manière que chez les conifères sous la pression des forces auxquelles elle est soumise.

Dans le pavage en bois, le roulement des voitures la broie, la détachant petit à petit des enveloppes cellulaires. Les premiers éléments détachés sont ceux des rayons allongés parallèlement à la surface de roulement. Le broiement se fait d'autant plus facilement qu'il existe dans le voisinage les lumens larges des vaisseaux, dans lesquels les cellules voisines peuvent se courber sous la pression des roues ou le choc des pieds des chevaux; elles peuvent s'écarter facilement du rayon médullaire dont la large surface donne une prise plus facile au choc oblique.

L'extrémité isolée des cellules se feutre ensuite à la surface dans le vide laissé par les cellules des rayons entraînés par les eaux de lavage, le vent ou l'adhérence aux jantes et aux pieds des chevaux. L'usure continuant, le parenchyme court suit, puis les articles primordiaux des vaisseaux et le parenchyme long, enfin les fibres elles-mêmes.

Dans les brisures par compression, on voit, de même que chez les conifères et pour les mêmes raisons, la rupture se produire sur un plan d'obliquité variable avec l'espèce sur la section tangentielle et suivant un rayon sur la section radiale. Mais dans ces bois, les flancs des rayons ne

sont pas les seuls points faibles; le tissu est irrégulièrement parsemé, suivant les espèces, de parenchyme et de vaisseaux plus ou moins gros sur lesquels la flexion peut se produire plus ou moins facilement. L'affaissement ne doit donc pas être aussi régulier que dans les résineux. L'examen microscopique permet de reconnaître que la rupture provient encore de la cassure ou du broiement de la matière intercellulaire et l'on voit les cellules à paroi faible affaissées ou disjointes, et les fibres tenir encore les deux parties de l'éprouvette.

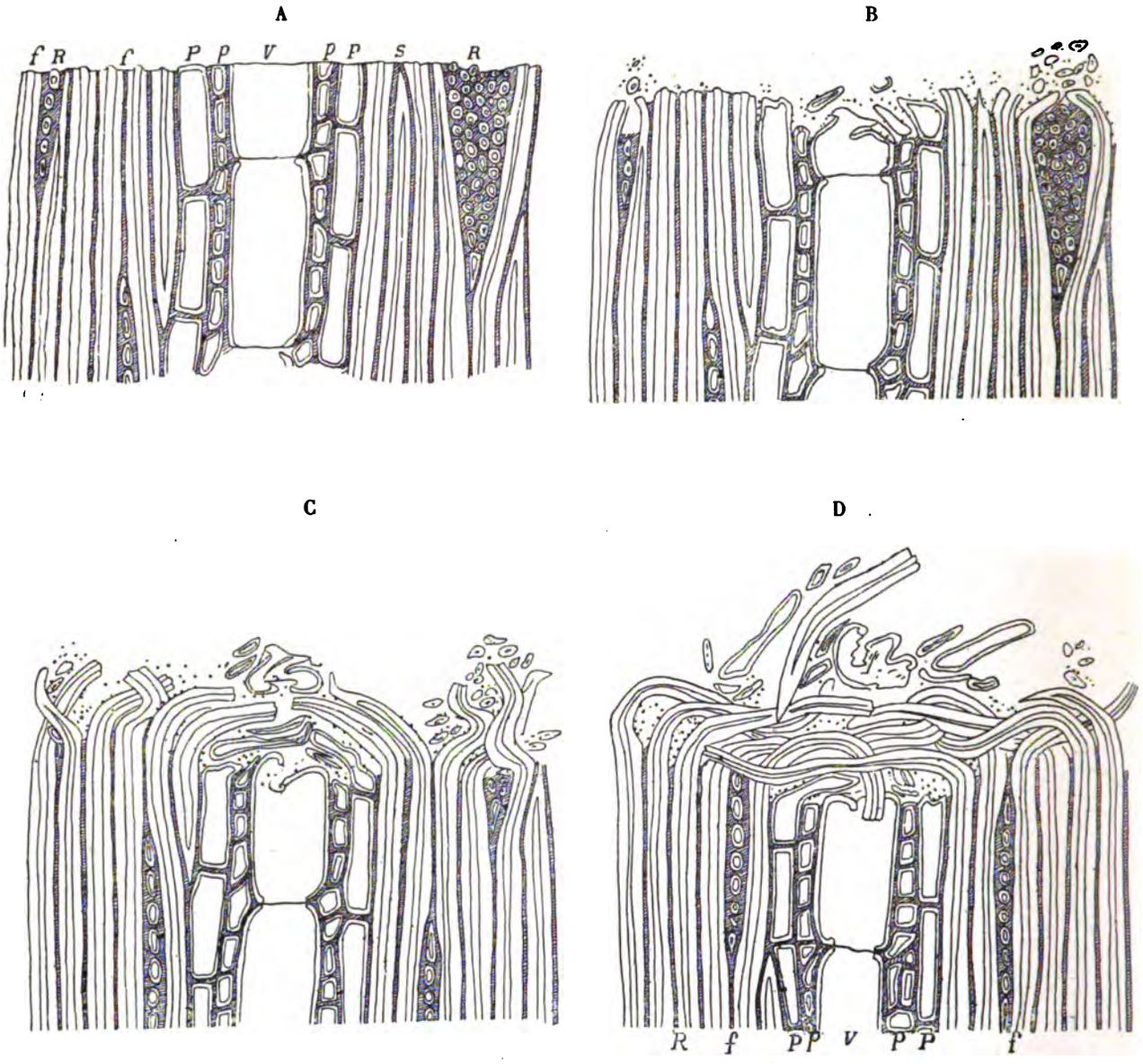


SCHÉMA DE L'USURE DU PAVAGE EN BOIS.

f, fibres. P, parenchyme long. R, rayons médullaires.
V, vaisseaux. *p*, parenchyme court.

A, pavé neuf. — B, les rayons se détachent. — C, le parenchyme et les articles des vaisseaux se détachent. D, les fibres commencent à se détacher.

Les ruptures par traction se font de même par longues esquilles de forme variable suivant les espèces, puisqu'au lieu de deux directions plus faibles (rayons médullaires et bois de printemps) existant dans les résineux, il existe encore dans les bois feuillus les files ou les faisceaux de parenchyme et les vaisseaux diversement distribués dans le tissu. La cassure se fait encore dans la matière intercellulaire qui apparaît brillante sur les esquilles; mais dans certains cas, en raison des thylles et de la formation primordiale des vaisseaux, il se produit quelques déchirures de leurs parois; les concrétions existant dans les bois les plus denses comme l'aman-

dier, l'olivier, les eucalyptus etc, peuvent elles-mêmes y provoquer, par suite de leur dureté ou de leur adhérence aux parois, des déchirures plus ou moins fréquentes.

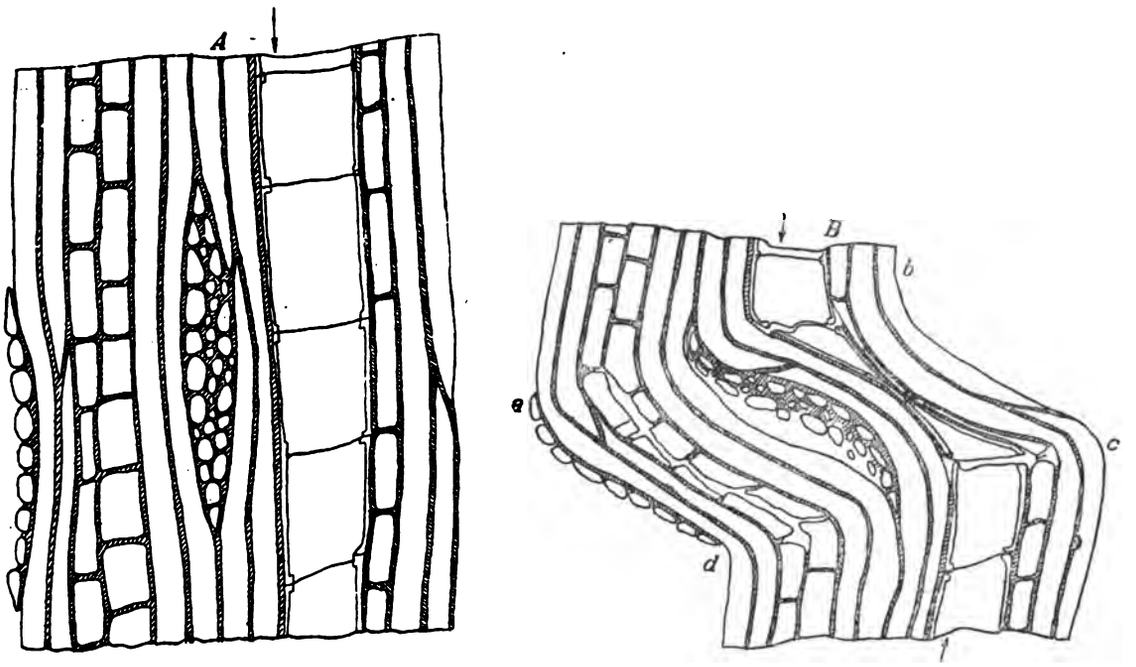
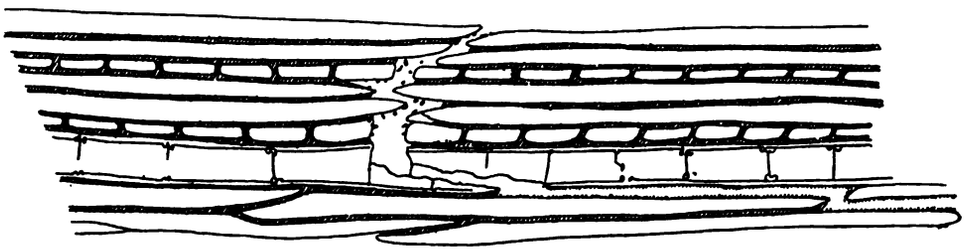


SCHÉMA DE LA BRISURE D'UNE ÉPROUVETTE PAR LA COMPRESSION PARALLÈLE AUX FIBRES.
A, Éprouvette intacte. — B, Éprouvette affaissée. — *a, b, c, d,* partie dissociée.

La matière intercellulaire nous paraît d'après ces exemples avoir une grande importance dans les questions de résistance; son étude sera complétée ultérieurement à l'occasion de l'étude



BRISURE PAR TRACTION.

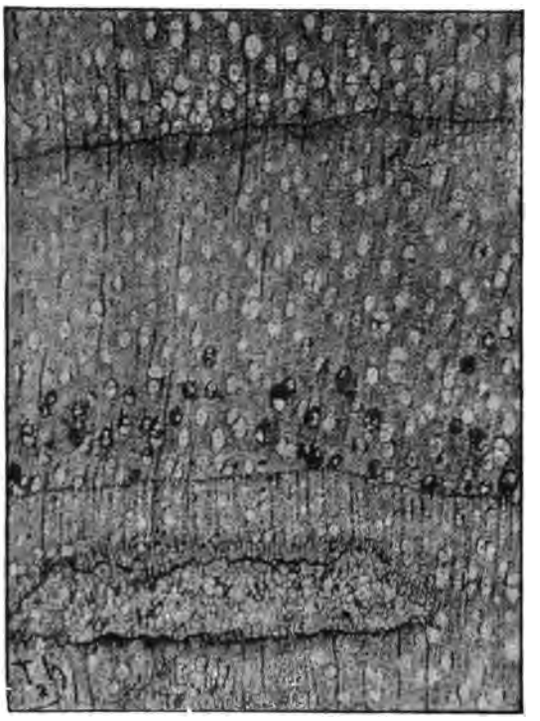
chimique du bois; étude succincte qu'il est nécessaire de faire pour avoir une idée complète de ce tissu si variable.

Les éléments décrits ci-dessus se rencontrent dans tous les arbres feuillus; mais pour terminer l'examen anatomique, il est nécessaire de signaler des éléments existant accessoirement dans certaines espèces, ce sont les *entre-écorces* et les *canaux laticifères.*

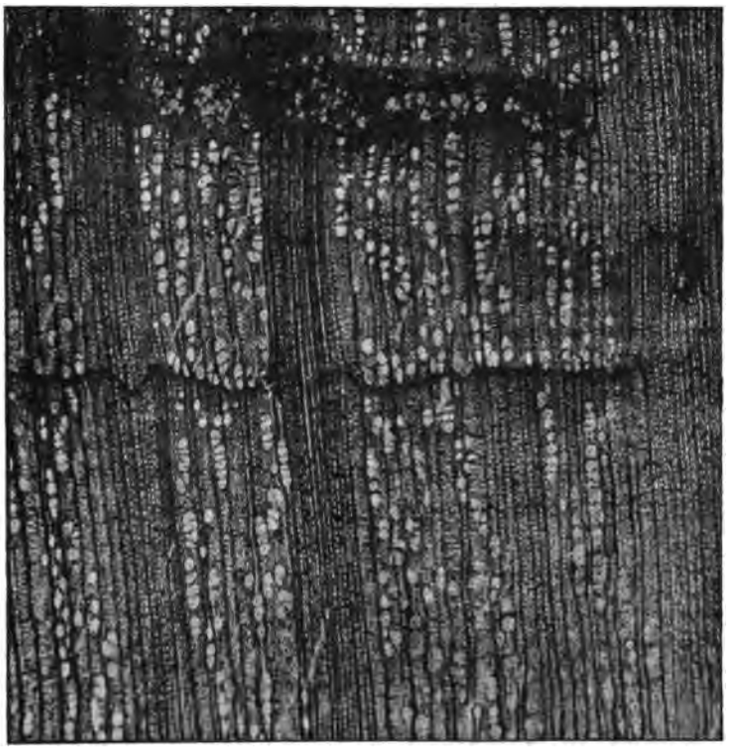
Entre-écorce.

On aperçoit dans les accroissements de quelques espèces de bois (aune, coudrier, alisier, saule etc.), des taches plus ou moins étendues qui n'ont pas la structure anatomique déjà décrite. Tantôt une teinte différente les rend très apparentes, tantôt, au contraire, comme dans le bois des saules on ne les distingue pas à l'œil nu.

Leurs limites sont des plus irrégulières, elles s'étendent en général beaucoup plus dans le sens de la périphérie que dans le sens radial, leur hauteur et leur direction dans le sens longitudinal est des plus variables.



Saule drapé. (30 diamètres.)
Entre-écorce incolore.



Coudrier noisetier. (30 diamètres.)
Entre-écorce colorée.

Aune glutineux. (60 diamètres.)
Section longitudinale d'une entre-écorce.

Elles sont formées de cellules de dimensions moyennes d'un diamètre généralement supérieur à celui des fibres. Ces cellules sont courtes, plus ou moins régulièrement rondes, ovales ou

arrondies, leurs parois sont minces peu ou pas ponctuées, leur lumen plus ou moins rempli de matières diverses.

Ce tissu dans lequel les rayons médullaires ont disparu le plus souvent, ressemble au parenchyme cortical et paraît être une partie de ce tissu englobé accidentellement dans le bois pendant sa formation, c'est pour cette raison que ces taches sont dénommées entre-écorce. Elles rappellent aussi, en quelque sorte, les entre-écorces que l'on rencontre à l'enfourchure de certaines ramifications soudées à la suite d'une croissance trop rapprochée et qui englobent dans le bois une partie de l'écorce des deux rameaux voisins.

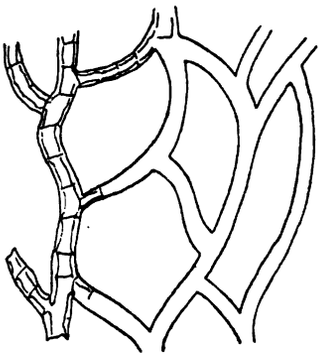
L'existence de ces taches est spécifique et permet de distinguer entre eux des bois de même aspect et d'espèces très voisines : les alisiers des poiriers et pommiers, les saules des peupliers, le charme du coudrier, etc.

Au point de vue de la résistance, ces taches composées de cellules rondes souvent simplement tangentes, peu adhérentes les unes aux autres, n'ont aucune consistance et sont une cause de faiblesse et de manque d'homogénéité dans le tissu. Ainsi certains alisiers dont le tissu ligneux serait une excellente matière pour la gravure sur bois sont peu estimés pour cet usage, parce que les planches doivent être examinées avec le plus grand soin avant l'emploi pour que l'on n'utilise pas les parties ainsi tachées sur lesquelles le burinage serait impossible.

Ces parties spongieuses sont, en outre, un excellent milieu pour les accumulations d'humidité et par suite le développement des champignons saprophytes.

Canaux laticifères.

Les bois feuillus français ne contiennent pas de canaux laticifères; lorsqu'ils existent dans leur tige, ils sont localisés dans la moelle (rosacées) ou dans l'écorce (érable, figuier). Mais comme il peut en exister dans certains bois étrangers, il est utile de les signaler et de les décrire sommairement.



Ces canaux sont formés d'une file de cellules primordiales irrégulièrement anastomosées entre elles et formant des réseaux irréguliers dans les tissus. Les parois séparatives de ces cellules se sont résorbées comme dans le cas des vaisseaux, et l'intérieur du canal formé est complètement rempli dans le bois vert par un liquide spécifique nommé *latex*, en raison de son aspect plus ou moins laiteux; il tient en suspension les produits les plus divers tels que l'opium des papavéracées, le gutta-percha et le caoutchouc dans les ficacées, le suc cristallisable dans les acérinées, etc.

Au point de vue des bois d'œuvre, ces canaux ont une action semblable à celle des vaisseaux dans les questions de résistance.

Si nous cherchons à résumer les diverses qualités des bois feuillus qui peuvent être déduites de l'étude précédente, nous regarderons comme acquises les conclusions suivantes :

La compacité et la dureté de ces bois sont proportionnelles à l'épaississement des diverses parois et surtout au nombre des fibres, et inversement proportionnelles à la grosseur des vaisseaux et à l'abondance du parenchyme ligneux et des rayons médullaires.

La ténacité est proportionnelle au nombre et au groupement des fibres, et inversement proportionnelle à la friabilité de la matière intercellulaire.

La flexibilité varie avec la distribution des divers éléments du tissu et la grosseur respective de ces éléments.

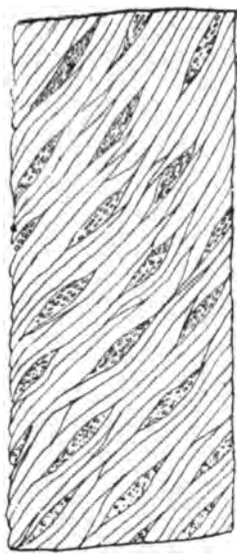
L'homogénéité est proportionnelle à la régularité de la distribution relative des divers éléments du tissu, et inversement proportionnelle à la décroissance des vaisseaux dans les accroissements successifs, à la grandeur des rayons médullaires, et à la localisation des divers éléments en faisceaux distincts.

Cette étude anatomique des diverses cellules du bois doit être complétée, pour donner une idée exacte du tissu ligneux, par certaines considérations générales sur la constitution des tiges communes aux deux classes; elles vont être examinées ci-après.

CONSTITUTION GÉNÉRALE DES BOIS D'ŒUVRE.

Formation des tiges.

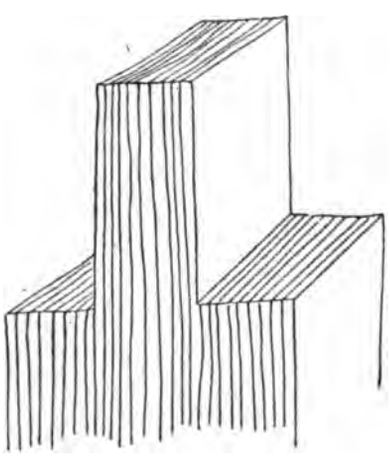
Dans tout ce qui précède, il a toujours été supposé que les secteurs fibrovasculaires s'accolaient entre eux suivant des plans radiaux passant par l'axe de croissance et un rayon perpendiculaire. Cette disposition est seule apparente à première vue et semble exister dans certains bois crûs dans des conditions normales, tels que le frêne, l'orme et le chêne. Quelques auteurs prétendent que ces secteurs sont toujours disposés plus ou moins obliquement et qu'ils s'enroulent en hélice autour de la moelle; l'inclinaison de ces hélices pourrait même être considérable; elle serait de 45 degrés pour le grenadier et de 30 degrés pour le lilas; les bois de ces deux espèces, en particulier, seraient d'après eux normalement et spécifiquement à fibre torse pour cette raison.

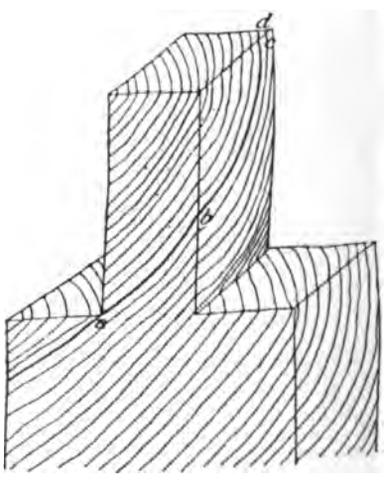


Cette inclinaison ne serait plus que de 10 à 20 degrés dans le marronnier, de 3 à 4 degrés dans le peuplier et le bouleau, d'après van Tieghem, et beaucoup moindre dans les autres essences. L'enroulement serait tantôt constamment et dans tous les accroissements vers la gauche (peuplier), ou vers la droite (marronnier); tantôt il aurait une direction prédominante dans l'espèce mais non exclusive vers la droite (poirier et charme), vers la gauche (saule); enfin pour d'autres espèces, la direction considérée dans les couches annuelles successives de la même tige changerait chaque année de sens (pin et sapin).

Ce phénomène trouve son explication, d'après van Tieghem, dans une croissance longitudinale trop vive des cellules périphériques après l'arrêt de la croissance en longueur du centre de la tige.

Ce fait semble confirmé par les études de M. d'Arbois de Jubainville qui lui ont permis de constater que les arbres à croissance rapide de la forêt domaniale de Marchiennes ont la fibre plus torse que les autres. Mais cette torsion ne serait pas pour lui spécifique, normale et de direction déterminée; car cette torsion serait dans cette forêt, dans les trois quarts des cas étudiés, vers la droite et dans les autres vers la gauche. De plus elle existe aussi bien sur les chênes que sur les pins ou les aunes; et une fois acquise par un individu, cet individu la transmettrait à sa descendance végétant dans des conditions de moins grande activité.





Ce phénomène de torsion du tissu, visible sur l'écorce même des tiges, est connu depuis longtemps des forestiers et des techniciens, on l'attribuait aux vents régnants dans la contrée et à l'irrégularité de la forme de la cime lui donnant plus de prise sur un côté du tronc que sur l'autre.

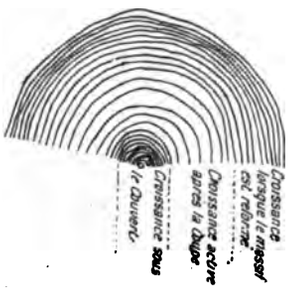
Que cette torsion soit spécifique ou accidentelle, il est certain que si elle est exagérée, elle peut avoir une importance au point de vue de la résistance dans les essais; car les forces n'agissent plus normalement ou parallèlement, mais plus ou moins obliquement au réseau perpendiculaire qui forme tout tissu ligneux.

Si, par exemple, on considère deux tenons ou deux planches, l'un avec des secteurs bien parallèles aux surfaces de résistance, et l'autre avec des secteurs hélicoïdaux, il est facile de comprendre d'après ce qui a été dit précédemment que le tenon à secteurs parallèles sera bien plus résistant que l'autre, dont la partie supérieure aura une tendance à se séparer suivant la surface courbe *abcd*; aussi les bois à tissu trop torse sont-ils très dépréciés, ils ne peuvent être employés qu'en grume comme poteaux ou relégués à l'emploi de bois de chauffage; on les affecte exceptionnellement à certains usages peu nombreux (vis de pressoir) pour lesquels cette disposition peut avoir des avantages.

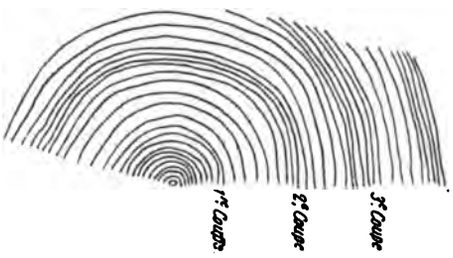
Cette disposition s'oppose aussi au débit des bois par la fente; car on n'obtiendrait dans ce cas que du merrain gauche et inutilisable.

TYPE DE CROISSANCE
à l'état isolé.

TYPE DE CROISSANCE
en futaie pleine.



TYPE DE CROISSANCE
en futaie jardinée ou taillis fureté.



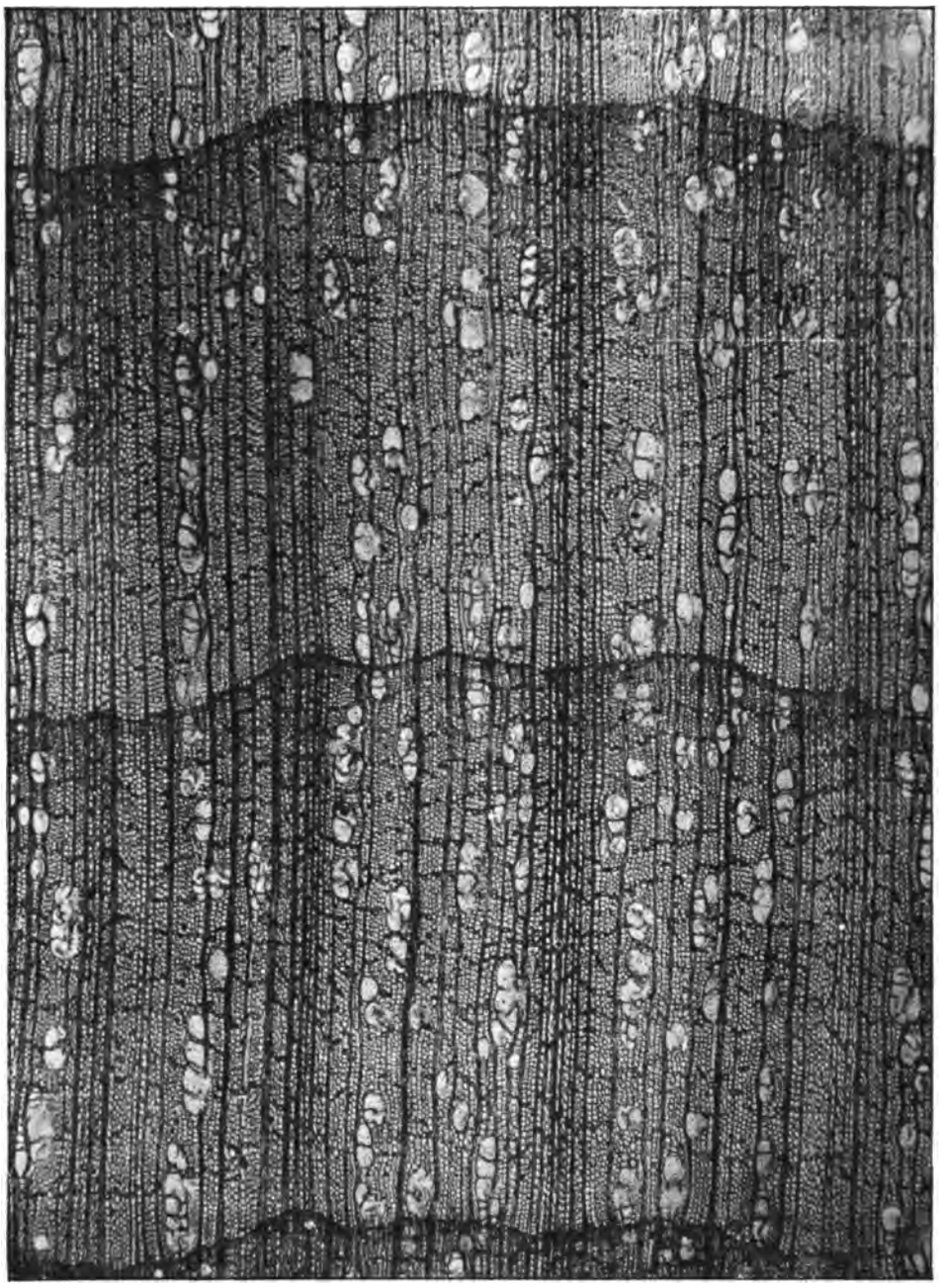
TYPE DE CROISSANCE
en taillis sous futaie.

Les accroissements successifs ne s'accumulent pas toujours avec la même régularité tout autour du bois primaire; leur épaisseur peut varier avec les saisons successives sèches ou pluvieuses, elle peut être réduite par les maladies passagères de l'arbre, les invasions d'insectes qui détruisent les feuilles, les gelées printannières qui endommagent les jeunes pousses. Le traitement, même forestier, peut produire des périodes de ralentissement ou d'activité dans la croissance. L'arbre crû isolément pendant toute sa vie, celui ayant vécu en futaie a un tissu beaucoup plus régulier que celui isolé périodiquement dans un taillis sous futaie, un taillis fureté ou une futaie jardinée. Les conditions de pente du sol, d'éclairage, d'orientation du tronc ou de nutrition entraînent souvent une excentricité plus ou moins prononcée de la tige. Cette excentricité existe même en principe général dans toutes les grosses branches.

Excentricité de la moelle
produite par la pente.

L'âge même et la période de moindre végétation ou de végétation très lente qu'il entraîne, peut produire à la périphérie des gros arbres à végétation rapide une zone d'accroissements très étroits.

Lorsque le tissu ligneux est homogène, ces irrégularités peuvent n'avoir qu'une très faible influence sur les qualités de résistance des deux parties à croissances différentes; mais lorsqu'il n'en est pas ainsi, comme dans les chênes et les abiétinées, les qualités des bois sont fortement modifiées, et il doit en être tenu compte dans l'emploi. Ainsi les menuisiers et les fabricants de merrain préfèrent les bois crûs en futaie pleine à cause de la plus grande régularité de la matière ligneuse obtenue par ce mode de traitement. Le bois des taillis sous futaie est, au contraire, peu estimé par eux en raison des grandes différences périodiques qui existent dans le tissu des tiges qui ont vécu dans ces conditions. Le bois de branche, quelle que soit sa grosseur, est peu utilisé comme bois d'œuvre, en raison de la forte excentricité de la croissance et de l'irrégularité de résistance des bois qui en proviennent.



CHARME COMMUN.
Section transversale. (30 diamètres.)

Enfin, suivant les espèces, la zone formée par l'accroissement est plus ou moins régulière. Tantôt la périphérie est circulaire et le tronc est bien arrondi (tremble, cerisier); tantôt cette périphérie, bien que circulaire dans son ensemble, est formée par une surface finement sinueuse

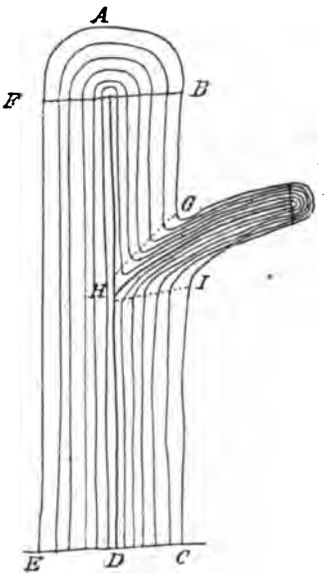
(voir ci-dessus les sections transversales de coudrier et de hêtre), tantôt elle est très irrégulière comme dans l'if, le charme, le peuplier pyramidal, et elle entraîne une déformation de la tige plus ou moins considérable. Le fût de l'arbre se trouve alors cannelé. Cette sorte de croissance déprécie les bois de ces espèces, puisqu'elle augmente les déchets lorsqu'on veut les débiter en pièces régulières; elle modifie aussi les qualités de résistance du bois, car elle fait varier l'orientation des diverses parties du tissu.

Tronc de forme irrégulière.

Dans le sens de la hauteur, les variations de forme des tiges sont peu considérables. Le fût ou tronc des arbres est le plus souvent bien droit : sapin, peuplier, hêtre, chêne; mais il peut être légèrement courbé par suite de causes diverses, par exemple les vents constants dans une direction ou l'éclairage plus grand d'un côté quelconque de l'horizon (arbres de lisières) qui entraînent une flexion plus ou moins considérable de la flèche. La hauteur varie suivant les espèces, et pour les mêmes espèces suivant les sols, le climat et même le mode de traitement forestier. Cette hauteur n'a d'importance, au point de vue technique, qu'en raison de la longueur et du nombre des pièces que l'on peut débiter dans le même arbre.

Le diamètre du fût décroît plus ou moins vite, suivant les espèces, au fur et à mesure qu'il s'élève au-dessus du sol. Généralement, depuis le sol jusqu'à la hauteur d'homme, le tronc est élargi; la cause de cet élargissement est la réunion à la tige des racines qui s'enfoncent obliquement dans le sol. Cette réunion amène une déviation des tissus qui rend peu propre au service cette partie; aussi les ouvriers la font-ils disparaître en partie avant d'utiliser la première bille d'un fût. Au-dessus de cet empatement et jusqu'aux premières branches la décroissance est assez régulière, c'est la partie essentiellement ouvrable de l'arbre. Au-dessus de ces branches, suivant les espèces, la grosseur diminue fortement, la direction verticale s'infléchit plus ou moins et, par exception seulement, l'on peut encore trouver quelques billes susceptibles de fournir des petits bois de construction.

La texture du tissu est la même dans toute la hauteur de la tige; mais il convient ici d'étudier comment l'allongement du fût s'est produit, puis comment les rameaux qui le garnissaient ont disparu.



Déviation du tissu par un embranchement.

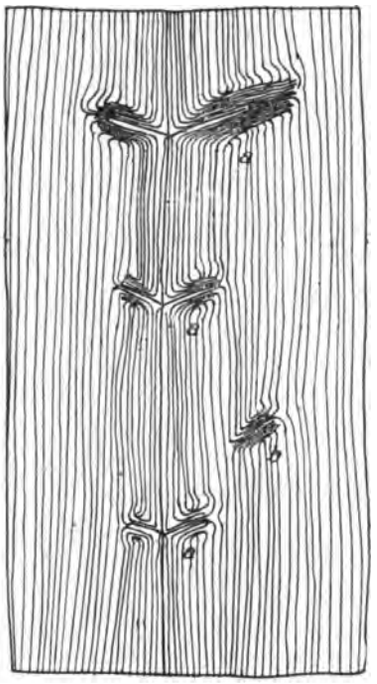
Les plus jeunes arbres sont pourvus de branches latérales depuis la base. Ces branches se sont étiolées au fur et à mesure que celles qui étaient au-dessus d'elles ont pris de la force; puis elles sont mortes et se sont brisées, produisant ce que l'on appelle l'élagage naturel du fût. Toutes ces branches mortes ou vives ont produit des déviations du tissu ligneux qui subsistent dans le bois mis en œuvre.

Le nombre de ces déviations augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de la cime, dépréciant la matière ligneuse par de trop nombreuses inflexions du tissu. Il est évident, en effet, qu'une pièce droite (poutre ou planche) prise dans la partie ABCD d'un tronc branchu n'aura pas la qualité d'une autre pièce prise dans la partie ADEF, puisqu'en GHI les secteurs ligneux seront coupés obliquement et presque perpendiculairement et qu'il est établi que les résistances dans ce sens sont bien différentes.

Le déchet provenant de cette cause dépend de l'importance de l'embranchement, ainsi les sapins et les épicéas à embranchement rare et faible fournissent relativement beaucoup plus de bois d'œuvre que les bois feuillus plus branchus; et parmi ceux-ci, les arbres cultivés en futaie pleine en donnent beaucoup plus que les arbres crûs isolément, dont l'embranchement est à la fois plus étendu et commence à une moindre hauteur du sol.

Ces embranchements existant au moment de l'abatage sont faciles à voir et l'on peut les éviter dans le débit, mais il n'en est pas de même de ceux qui ont disparu par l'élagage naturel. La base de ces rameaux existe dans le tronc où elle produit ce que les ouvriers appellent des *nœuds*.

Ces nœuds ont été plus ou moins vite recouverts par la croissance périphérique suivant leur grosseur et les espèces botaniques. Tantôt, comme dans le peuplier, le rameau de 1, 2 ou 3 ans étiolé forme à sa base un tissu spécial et tombe sans laisser de plaie ou de partie morte. Tantôt le dépérissement est beaucoup plus long, le rameau se dessèche et reste encore assez longtemps sur l'arbre, puis le vent ou un choc quelconque le brise en laissant une esquille plus ou moins longue et irrégulière. Cette esquille ne peut être recouverte qu'au bout d'un certain temps par la croissance périphérique. Cette partie morte incluse dans le tronc constitue un nœud tantôt sain, tantôt plus ou moins vicié par les infiltrations et les invasions végétales ou animales.



a, nœuds provenant de l'élagage naturel des rameaux latéraux.
b, nœud provenant d'un rameau adventif.

Généralement dans les bois feuillus, la pression du tissu en végétation dépouille le nœud de son écorce, le nouveau tissu s'incruste dans toutes les sinuosités de l'esquille en chassant le bois décomposé et l'on ne trouve dans la bille qu'une petite partie de bois mort très adhérente au tissu. Dans les résineux, il n'en est pas de même; généralement avec l'étiolement précédant la mort du rameau, un épanchement considérable de résine se produit entre le tissu vivant du fût et la partie où la végétation va cesser, il injecte de résine tout le bois et l'écorce et il rend cette partie plus dure et plus résistante à l'humidité. Le *chicot* se brise alors à une plus grande distance du tronc (ce fait tient aussi dans certains cas à la grande épaisseur de l'écorce qui l'enchâsse); un temps assez long est nécessaire pour qu'il soit entièrement recouvert. L'écorce envahie par la résine fait corps avec le chicot et se trouve incrustée dans le bois avec lui. Ces nœuds des résineux ont l'inconvénient, lorsqu'ils sont mis à jour par les débits et que le tissu se dessèche, de former des parties dures qui arrêtent les outils; de plus ils se détachent facilement des planches mises en place.

Tous les nœuds dont on vient de parler, se trouvent dans les arbres assez près de la moelle ou cœur de l'arbre, et pour cette nouvelle raison les ouvriers enlèvent cette partie pour la confection des ouvrages soignés.

D'autres nœuds provenant des bourgeons adventifs et proventifs des arbres feuillus et de quelques conifères peuvent exister, mais ils sont rares dans les arbres de futaie; ils ne sont abondants que dans les arbres de taillis soumis à des dégagements périodiques ou dans les arbres de lisière périodiquement élagués; aussi leur bois est rempli de nœuds cachés dans toute son épaisseur, et il est fort déprécié pour cette raison.

La crainte des nœuds inclus dans le tissu est la cause pour laquelle les bois sont presque toujours employés en dimensions supérieures à celles nécessaires pour résister aux forces auxquelles ils doivent être soumis. Malgré cette précaution, il est arrivé souvent que les nœuds cachés ont conduit à des mécomptes; cet inconvénient a fait préférer dans maintes circonstances le métal au bois.

Des études scientifiques bien conduites produisent déjà en Amérique un mouvement en sens contraire; elles ont permis de reconnaître qu'à poids égal, certains bois (l'hickory par exemple, et d'autres) avaient une résistance 4 ou 5 fois supérieure à celle du fer et qu'en sélectionnant avec soin la matière ligneuse, son emploi était bien supérieur à celui des métaux dans un grand nombre de circonstances.

Aubier et bois parfait.

Si l'on observe la section transversale d'un arbre, on remarque le plus souvent que les couches du pourtour ont une teinte plus claire que celles du centre. La première partie porte le nom d'*aubier* et la seconde celui de *bois parfait:* cette dernière partie seule s'emploie ou peut être

employée dans certaines espèces botaniques, car elle seule a quelque durée; la première, au contraire, est rapidement détruite par les insectes et les végétations mycologiques ou microbiques. D'où vient cette différence? La conformation anatomique du tissu est la même dans ces deux parties; dans quelques genres ou espèces on reconnaît cependant une différence déjà signalée, les vaisseaux du bois parfait le plus rapproché de l'aubier se garnissent de thylles qui obstruent les lumens plus ou moins complètement et persistent dans les couches sous-jacentes. Mais cette obstruction des vaisseaux n'est pas suffisante pour justifier la différence de couleur, et surtout l'énorme différence de « durabilité » (expression adoptée à l'étranger) qui existe entre ces deux parties de la même tige.

L'étude physiologique donne une meilleure explication; elle permet de reconnaître que la sève circule dans les jeunes vaisseaux et qu'elle établit des réserves nutritives dans le parenchyme, d'autant plus activement que l'on se rapproche de la périphérie de la tige. Les cellules et vaisseaux de cette partie contiennent des matières végétales instables facilement transformées par les diastases pendant la période de croissance. Des courants internes ou l'endosmose les font affluer vers la périphérie ou cambium pour nourrir et développer le jeune tissu en formation. Ces matières sont tantôt solides (amidon, etc.), tantôt à l'état de dissolution (glucose, éléments azotés, etc.), tantôt en globules liquides (huiles diverses); on les reconnaît facilement par l'étude microscopique et l'analyse microchimique. Ces matières sont peu colorées en général, d'où la faible coloration de l'aubier; elles peuvent être utilisées non seulement par le végétal vivant, mais encore, si la vie vient à cesser par suite de l'abatage et qu'elles deviennent ainsi inutiles,

IF COMMUN.
Section transversale. (Grandeur naturelle.)

elles peuvent servir à la nutrition des animaux, des insectes et des végétaux inférieurs. Cette partie du bois est donc après l'exploitation d'autant plus sujette à des détériorations qu'elle est plus riche en éléments de cette nature facilement assimilables.

Au fur et à mesure que la tige s'accroît, le courant de sève devient moins actif dans la profondeur des accroissements recouverts, les parois traversées par les solutions s'imprègnent de matières diverses et deviennent moins perméables; les diastases s'épuisent et ne peuvent plus se reconstituer ou réagir par suite de la moindre pénétration de l'air et de la lumière; de plus, les corps simples ou composés en excédant dans les lumens, ou inutiles à la constitution des jeunes tissus augmentent et s'accumulent dans le parenchyme et même dans les vaisseaux. De nou-

velles combinaisons se produisent, dans lesquelles l'azote, le phosphore, le chlore et d'autres corps nécessaires au protoplasma de la périphérie ont disparu presque entièrement, le protoplasma lui-même n'existe plus dans les lumens. Ces nouveaux produits imprégnent le tissu et produisent la lignification du bois ; leur caractère général est d'être plus stables et difficilement assimilables par les animaux et les végétaux; souvent ils sont antiseptiques et, pour cette raison, ils assurent la conservation du tissu. Cette lignification se traduit le plus souvent par une coloration rousse ou fauve que l'on attribue à la *lignine* ou *vasculose*, sur laquelle nous aurons à revenir ultérieurement.

Les autres produits formés varient du reste avec les espèces, s'ils sont colorés et solubles, ils peuvent teinter plus ou moins le tissu; c'est ainsi que le bois d'ébène se colore en noir, celui de la bourdaine en rose, du cytise en brun verdâtre, du mûrier en jaune verdâtre, du copahu en violet, de l'if en amarante brunâtre, etc.

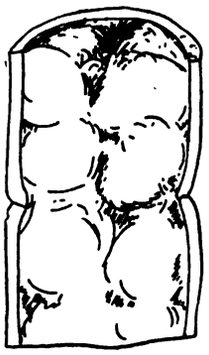
Quelquefois la teinte est marbrée ou veinée de diverses couleurs, par suite des différences dans les productions annuelles ou de l'accumulation d'une matière dans certaines parties du tissu; ainsi le bois de noyer est gris roussâtre marbré de noir, l'olivier bistre veiné de brun et de noir, le pistachier de l'Atlas brun verdâtre marbré de rouge, de rose, de vert et de brun.

Ces teintes, nuances ou marbrures sont souvent un précieux auxiliaire pour reconnaître et différencier les espèces; il arrive aussi que leur intensité se modifie avec le sol et le climat; ainsi le chêne yeuse devient brun marbré de rouge et de noir dans certaines localités de Corse, le bois de noyer très pâle et peu nuancé dans les plaines du Nord, devient beaucoup plus foncé et magnifiquement marbré de noir dans les montagnes, etc.

Cette question de coloration, bien accessoire en général au point de vue de la résistance, a une grande importance au point de vue de l'emploi esthétique des bois, et le prix de certains d'entre eux augmente considérablement en raison de la beauté de leur coloris; ce sont ces nuances qui les font rechercher pour l'ébénisterie et la marqueterie de luxe.

Il ne faut pas confondre toutefois les colorations naturelles et saines avec d'autres amenées par des commencements de décomposition. Ces dernières se reconnaissent presque toujours, du reste, par une étude microscopique approfondie qui décèle des altérations des caractères anatomiques. La connaissance du tissu sain a pour cette raison une grande importance.

Il faut encore signaler dans le bois parfait d'autres produits qui, soit en raison de leur insolubilité ou de l'état de saturation du liquide, s'amoncellent à l'état solide dans les cavités des cellules et vaisseaux qui prennent alors la coloration de ces concrétions. Ce sont souvent elles, du reste, qui provoquent les marbrures et veines signalées ci-dessus. Le comblement des lumens par ces matières solides augmente les qualités de résistance du tissu, puisque les parois de chaque cellule ainsi soutenues ne peuvent s'affaisser dans le lumen. Les bois de grande densité



Vaisseau rempli de gomme ou résine.

Parenchyme et vaisseau remplis par du tannin et des concrétions diverses.

comme l'amandier, l'ébène, le jarrah, le karri, le bois de fer ont généralement leurs cavités cellulaires presque absolument pleines de ces produits résiduaires, dont la nature, variable avec les espèces, a une grande influence aussi sur les questions de « durabilité » du tissu.

L'aubier de certains arbres paraît exceptionnellement avoir la même qualité ou à peu près

que le bois parfait, de sorte que l'on peut utiliser la totalité des tiges au lieu d'être obligé de les réduire par l'enlèvement de leur périphérie. Le châtaignier et le robinier pseudo-acacia, parmi les bois exploités en France, sont dans ce cas; les pieux et échalas de ces espèces résistent 25 et 30 ans aux intempéries des saisons. Ce fait tient, dans le premier de ces bois, à l'abondance du tannin déjà formé dans l'aubier, et dans le second à l'existence de la robinine dans cette même partie. Ces matières sont de puissants antiseptiques, le second est même très vénéneux, de sorte que la vie animale ou végétale saprophyte est arrêtée par leur présence. De plus, comme ils sont peu solubles dans l'eau, et qu'ils injectent naturellement la cellulose des parois, les périodes de pluie ne les font pas disparaître rapidement.

En thèse générale, la présence d'un aubier bien défini indique une meilleure lignification du tissu; les bois sans aubier sont moins durables que les autres, ainsi le bois de peuplier blanc est supérieur pour cette raison aux espèces voisines, le pin au sapin, etc.

Cette distinction n'est pas toujours apparente, le charme, les érables, le bouleau, les fruitiers en général ne présentent aucune différence d'aspect dans l'épaisseur de la tige; chez d'autres elle est peu sensible (épicéa, saule). Il ne faudrait pas en conclure que ces bois se composent exclusivement d'aubier. Leur lignification peut être moindre, cela est certain, mais elle peut être aussi masquée par une matière colorante qui est également abondante dans tout le tissu, ou, au contraire, par des matières incolores qui blanchissent le tissu (buis de couleur jaune uniforme et pin cembro dont la résine blanchâtre pâlit le bois parfait). Cette question est donc encore des plus complexes.

La proportion entre l'aubier et le bois parfait varie avec les espèces. L'existence d'une trop grande quantité d'aubier, d'une limite irrégulière entre cette partie du tissu et le bois parfait, sont des conditions d'infériorité pour une espèce déterminée au point de vue technique et forestier, puisqu'elle réduit la partie utilisable du bois. Ce motif fait préférer dans bien des pays le bois de sapin à celui des pins, parce que la totalité de la tige du premier dépourvue d'aubier est utilisable. Le pin laricio, dont le bois parfait est d'une grande durée, est peu recherché à raison de l'énorme quantité d'aubier qu'il contient et de la grande irrégularité de cette zone.

Cette irrégularité montre que le bois parfait ne se forme pas au bout d'un temps déterminé et à une profondeur fixe pour une espèce végétale, comme on peut s'en rendre compte par l'examen du dessin ci-joint représentant une tige d'if. L'épaisseur de l'aubier semble cependant moins variable que le temps nécessaire à sa lignification; d'après les recherches de M. Fliche, professeur à l'école de Nancy, faites sur la collection de bois à sa disposition, le nombre de couches de l'aubier varie dans le pin laricio de 12 à 382 pour une épaisseur décroissante avec l'âge de 195 à 46 millimètres.

DENSITÉ DES BOIS.

La répartition dans les tissus en nombre variable des cellules de différentes sortes, la largeur inégale des accroissements, leur constitution par des bois de printemps et d'automne de structure différente, les dépôts plus ou moins abondants à l'intérieur des lumens, les produits divers injectant les parois sont les causes premières des différentes densités des nombreuses espèces de bois et des variations de cette densité pour la même espèce.

L'habitat de l'arbre peut encore influer sur elle; si, par suite d'un abri, d'une sélection naturelle, d'un état spécial de massif, la végétation est plus ou moins hâtive ou tardive, la proportion entre le bois d'automne et le bois de printemps varie et, par suite, avec elle, la densité.

Cet habitat influe, en outre, souvent sur les dépôts résiduaires et les sécrétions qui remplissent les lumens; leur abondance peut tenir à la nature, à la composition du sol et aussi au climat.

Le climat a son influence sur l'élaboration de la sève et les épaississements des cellules; si l'on compare les poids de deux échantillons de chêne pédonculé, l'un crû en Normandie et l'autre dans la vallée de l'Adour, on remarque que le second est plus lourd que le premier, quoique les accroissements soient de même dimension, il en est de même pour des épiceas crûs dans le Nord de la Suède, la Normandie et les Alpes. Ces différences tiennent aux conditions variables d'élaboration de la sève suivant les climats, et en second lieu aux aliments nutritifs contenus dans les sols.

Tous les sols ne contiennent pas la même proportion d'aliments nutritifs; l'excès ou l'absence de certains d'entre eux peuvent même amener le dépérissement de certaines espèces.

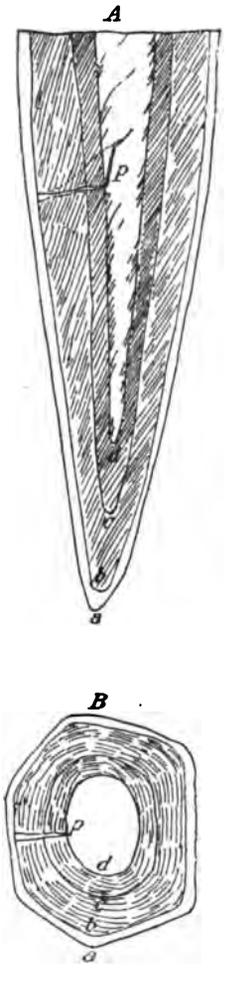
Sur les terrains calcaires, le châtaignier et le pin maritime périssent par suite de l'excès de calcaire introduit dans leur tige. L'absence du calcaire dans les sols siliceux réduit au contraire le nombre des espèces végétant sur ces sols. D'un autre côté, les réactions biologiques produites par les diastases d'une espèce demandent certaines températures pour se développer, une certaine quantité de lumière, une atmosphère d'une humidité déterminée, peut être même certaines conditions de pression modifiées par l'élasticité de l'écorce suivant son degré d'humidité, peut-être aussi par l'altitude.

Toutes ces conditions passent par des maxima et des minima au delà desquels toute végétation cesse. Entre ces limites, les degrés sont nombreux et passent par des termes qui sont les plus favorables à l'action de chacune des diastases productives des diverses substances végétales.

Dans une même forêt et surtout dans la zone habitée par une espèce, ces conditions varient à chaque pas avec la pente, l'exposition, la nature et la profondeur du sol, l'accumulation de l'humus ou sa disparition, l'altitude ou la latitude et les variations de climat qui s'ensuivent.

Les diastases agissent dans chaque lieu d'une manière plus ou moins active, favorisant ici la multiplication des cellules, là, la formation des dépôts résiduaires et des sécrétions, là, enfin, l'épaississement des parois qui entraînent avec lui ces différences de densité signalées plus haut dans la même espèce. Chaque cellule se compose, en effet, essentiellement d'une membrane primordiale formée au moment de la croissance en longueur et en diamètre; sur cette membrane suivant l'état nutritif de la sève, il se forme, dès la première année, des épaississements plus ou moins grands; ces épaississements peuvent ultérieurement, et pendant un certain temps, augmenter chaque année ou même diminuer, si les diastases se trouvent encore dans des conditions favorables pour les développer ou les réduire afin d'alimenter les cellules en croissance. L'épaississement reste ainsi de dimensions très variables suivant ces conditions; et il produit des différences très notables de densité.

Si les conditions locales de la végétation agissent sur l'augmentation des sécrétions, comme il arrive pour le pin maritime, la densité varie dans une certaine mesure. Le pin maritime introduit dans les environs de Paris est moins dense que celui des Landes de Gascogne et, dans ces Landes, le pin gemmé, c'est-à-dire mutilé pour développer les épanchements de résine, est plus lourd que celui qui n'a pas subi cette opération.



FIBRE.

A, section longitudinale.
B, section transversale.
ab, membrane primordiale.
bc, épaississement moyen (chêne pédonculé-normand).
bd, épaississement maximum (chêne pédonculé de l'Adour).
p, ponctuation.

D'après cet exposé, il semble donc que la densité d'un bois indique la masse de matière ligneuse pour un volume donné; et beaucoup d'auteurs ont émis l'avis que cette densité était proportionnelle aux qualités de résistance des échantillons pris dans les bois de même espèce. Ce fait est exact dans une certaine mesure; car, si l'on réduit en poudre fine un bois quelconque, d'après MM. Dupont et Bouquet de la Grye, la densité de cette poudre est à peu près de 1,50, quelle que soit l'espèce. Mais la densité du bois est assez difficile à obtenir d'une façon précise en raison de l'hygroscopicité de cette matière dont nous allons parler ci-après.

Le tableau ci-contre montre combien la densité des bois d'une espèce varie pour le territoire

français; des tableaux semblables pourraient être établis pour les autres pays où les mêmes faits ont été constatés.

Variation des densités des échantillons de la collection de l'École forestière de Nancy séchés à l'air libre.
(D'après M. Boppe, Directeur de cette École.)

ESPÈCES.	DENSITÉ À L'ÉTAT SEC.				VARIATION POUR 100 par rapport au minima.
	MINIMA.	ORIGINE.	MAXIMA.	ORIGINE.	
					p. 100.
BOIS FEUILLUS.					
Chêne rouvre	0.600	Meurthe-et-Moselle	1.020	Var	41.1
Peuplier noir	0.349	*Idem*	0.585	Gironde	40.3
Saule marceau	0.428	Basses-Pyrénées	0.715	Var	40.1
Alisier	0.639	Meurthe-et-Moselle	0.989	*Idem*	35.4
Érable plane	0.563	Alsace	0.842	Sainte-Baume (Var)	33.1
Frêne commun	0.626	*Idem*	0.930	*Idem*	32.6
Aune commun	0.462	Meurthe-et-Moselle	0.662	Corse	30.2
Chêne pédonculé	0.633	Alsace	0.900	Landes	29.6
Érable à feuilles d'obier	0.618	Corse	0.868	Jura	28.5
Noyer commun	0.579	Puy-de-Dôme	0.800	Var	27.6
Érable champêtre	0.599	Isère	0.810	Sainte-Baume (Var)	26.0
Hêtre commun	0.686	Meurthe-et-Moselle	0.907	*Idem*	24.3
Orme champêtre	0.603	Gironde	0.793	*Idem*	23.9
Érable sycomore	0.572	Jura (920 mètres d'altitude)	0.737	Alsace (1,000 mètres d'altitude)	22.3
Buis commun	0.907	Var	1.161	Basses-Pyrénées	21.8
Bouleau commun	0.619	Meurthe-et-Moselle	0.771	Puy-de-Dôme	19.7
Châtaignier commun	0.601	Alsace	0.742	*Idem*	19.0
Chêne occidental	0.768	La Teste (Gironde)	0.947	Landes	18.9
Chêne-liège	0.829	Var	1.022	Var	18.8
Orme diffus	0.554	Alsace	0.676	Alsace	18.0
Cerisier merisier	0.654	Isère (600 mètres d'altitude)	0.785	Puy-de-Dôme	16.6
Tilleul	0.486	Meurthe-et-Moselle	0.581	Var	16.3
Peuplier blanc	0.453	Alsace	0.540	*Idem*	16.1
Poirier sauvage	0.707	Meurthe-et-Moselle	0.839	Meurthe-et-Moselle	15.7
Charme commun	0.759	Isère	0.902	Puy-de-Dôme	14.7
Robinier pseudo-acacia	0.661	Meurthe-et-Moselle	0.772	Gironde	14.3
Chêne yeuse	0.913	Gironde	1.066	Var	14.3
Coudrier noisetier	0.620	Basses-Pyrénées	0.723	Meurthe-et-Moselle	14.2
Chêne tauzin	0.785	La Teste (Gironde)	0.909	Basses-Pyrénées	13.6
Sorbier domestique	0.813	Meurthe-et-Moselle	0.939	Var	13.4
Micocoulier de Provence	0.690	Var	0.778	Pyrénées-Orientales	11.3
Peuplier tremble	0.544	Meurthe-et-Moselle	0.612	Puy-de-Dôme	11.1
Cornouiller mâle	0.943	*Idem*	1.014	Sainte-Baume (Var)	7.0
Houx	0.875	Var	0.920	Var	4.8
Orme de montagne	0.609	Alsace	0.621	Alsace	1.9
BOIS RÉSINEUX.					
Pin sylvestre	0.405	Isère	0.799	Haguenau (Alsace)	49.3
Épicéa	0.337	Jura (920 mètres d'altitude)	0.579	Vosges (800 mètres d'altitude)	41.8
Mélèze d'Europe	0.456	Puy-de-Dôme	0.660	Hautes-Alpes	30.9
Pin laricio	0.538	Corse (750 mètres d'altitude)	0.777	Corse (1,110 mètres d'altitude)	30.8
Sapin pectiné	0.381	Jura (900 mètres d'altitude)	0.529	Puy-de-Dôme	27.9
Pin de montagne	0.441	Hautes-Alpes	0 605	Jura	27.1
Pin maritime	0.524	Landes	0.674	Var	22.2
Pin cembro	0.418	Hautes-Alpes	0.525	Basses-Alpes	20.3
Pin pinier	0.521	Landes	0.631	Pyrénées-Orientales	17.4
Pin d'Alep	0.740	Var	0.866	Var	14.5

EAU CONTENUE DANS LE BOIS, ET HYGROSCOPICITE.

L'arbre sur pied est gonflé de sève plus ou moins élaborée et de dissolutions aqueuses qui ont envahi par endosmose la cavité des vaisseaux et des autres cellules. La substance même des parois des cellules et la matière intercellulaire sont aussi imbibées par l'eau de ces liquides en plus ou moins grande quantité, comme on peut s'en rendre compte par le tableau ci-après.

Différence entre le poids du mètre cube de bois vert et de bois séché à l'air libre (d'après Gayer).

ESPÈCES.	POIDS DU MÈTRE CUBE DE BOIS		QUANTITÉ D'EAU ÉVAPORÉE.	PROPORTION POUR 100 de l'eau évaporée dans le bois séché à l'air.
	vert.	desséché à l'air.		
	kilogrammes.	kilogrammes.	kilogrammes.	p. 100.
Mélèze	760	620	140	22.5
Frêne commun	920	750	170	22.6
Pin sylvestre	700	520	180	34.6
Chêne pédonculé	1,100	860	240	27.9
Chêne rouvre	1,010	740	270	36.5
Épicéa commun	730	470	260	55.0
Orme champêtre	950	690	270	49.0
Érable sycomore	930	660	270	40.0
Hêtre commun	1,010	740	270	36.4
Aune glutineux	820	530	290	54.0
Tilleul	740	450	290	64.4
Pin Weymouth	730	430	300	69.8
Aune blanc	800	490	310	60.3
Peuplier tremble	800	490	310	60.3
Saule	850	530	320	60.0
Bouleau blanc	940	610	330	50.4
Charme commun	1,080	720	360	50.0
Pin noir	1,000	570	430	70.7
Peuplier blanc	950	480	470	97.9
Sapin pectiné	1,000	480	520	108.3

La quantité d'eau susceptible de s'évaporer par suite de la dessication incomplète qui s'opère à l'air libre serait donc par mètre cube de 140 kilogrammes pour le mélèze et de 520 kilogrammes pour le sapin, formant ainsi 22 à 108 p. 100 du poids du bois sec.

Après l'abatage, cette eau s'évapore petit à petit et d'autant plus rapidement que le tissu est moins dense, que les vaisseaux sont mieux ouverts et plus nombreux, que le bois est débité en parties plus fines, enfin que les pièces obtenues sont conservées dans une atmosphère plus sèche. Cependant il ne faut pas que cet état de siccité soit trop grand; car l'évaporation se produirait trop rapidement à la surface, où les cellules internes n'auraient pas le temps d'amener graduellement leur humidité par endosmose et capillarité; la contraction qui suit la dessication se ferait plus vite à la surface que dans la profondeur du tissu, et de nombreuses fentes se produiraient et endommageraient la matière ligneuse.

Le bois est une matière très hygroscopique qui reprend dans l'air ambiant ou au milieu dans lequel il est utilisé, l'eau qui s'y trouve. La dessication doit donc être en quelque sorte proportionnelle à l'emploi que l'on doit faire du bois. Des pilotis immergés peuvent être utilisés aussitôt après l'abatage. Les bois de menuiserie et ceux d'ébénisterie destinés aux appartements doivent être aussi secs que possible pour ne pas jouer une fois mis en place.

Par suite de cette hygroscopicité, le bois séché à l'air libre contient encore une certaine quantité d'eau que l'on peut apprécier par des séchages à l'étuve.

Hartig l'évalue à 15 à 20 p. 100 du poids, d'après les études faites avec une étuve chauffée à

125 degrés centigrades; de Rumford, opérant sur des bois séchés dans les mêmes conditions, mais dans une étuve chauffée à 135°, fournit les chiffres suivants pour quelques espèces :

Chêne	16.6	p. 100 d'eau	sur son poids total.
Sapin	17.5	—	—
Orme	18.2	—	—
Hêtre	18.5	—	—
Erable	18.6	—	—
Tilleul	18.8	—	—
Bouleau	19.4	—	—
Peuplier	19.5	—	—

D'après Chevandier et Wertheim, les bois ainsi étuvés reprennent en quelques jours ou semaines la totalité de l'eau évaporée, lorsqu'ils sont abandonnés de nouveau dans des dépôts à l'air libre.

En perdant leur eau, les parois des cellules et la matière intercellulaire se contractent comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire et de l'expliquer; les constatations du retrait depuis le moment de l'exploitation jusqu'à l'état de siccité nécessaire pour l'emploi sont rares, l'étude de cette question reste presque entièrement à faire. D'après des expériences faites par M. Marcus, administrateur de la cristallerie de Baccarat, sur des pièces de hêtre et de tremble coupées depuis un an et soumises pendant 48 heures à une température moyenne de 100 à 110 degrés centigrades, les retraits moyens auraient été les suivants :

Retrait longitudinal ou parallèle à l'axe de croissance	1/220
Retrait radial ou perpendiculaire à cet axe	1/42
Retrait tangentiel aux couches de croissance	1/18
Soit un retrait sur le volume total de	1/16

Lave de son côté a étudié la dilatation que le bois pouvait prendre en réabsorbant l'eau du milieu dans lequel il se trouve; il a poussé l'essai jusqu'à son maximum en plongeant les échantillons dans l'eau jusqu'à saturation. Des expériences du même genre ont été faites par le Laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, à Paris, pour se rendre compte du déplacement que la dilatation aqueuse pouvait produire sur les chaussées en bois. On voit par le tableau ci-contre combien cette dilatation peut être considérable.

Dilatation (d'après Lave) des bois préalablement desséchés puis plongés dans l'eau jusqu'à saturation.

ESPÈCES.	DILATATION LINÉAIRE POUR 100 UNITÉS SUR LA DIMENSION		
	longitudinale.	radiale.	périphérique.
Cèdre	0.017	1.30	3.38
Ébène	0.010	2.13	4.07
Citronnier	0.154	2.18	4.51
Sapin	0.076	2.41	6.18
Frêne jeune	0.821	4.05	6.56
Érable	0.072	3.35	6.59
Frêne vieux	0.187	3.84	7.02
Pommier	0.109	3.00	7.39
Chêne jeune	0.400	3.90	7.55
Chêne vieux	0.130	3.13	7.78
Hêtre pourpre	0.200	5.03	8.06
Robinier pseudo-acacia	0.035	3.84	8.52
Bouleau blanc	0.222	3.86	9.30
Buis	0.026	6.02	10.20
Hêtre commun	0.400	6.66	10.90
Poirier	0.228	3.94	12.70

L'eau contenue dans le bois change donc à la fois le volume et le poids des pièces examinées; on comprend alors combien la détermination de la densité est délicate et peu pratique, et que, malgré les renseignements utiles qui en dérivent, les questions de densité soient laissées de côté dans les transactions commerciales. L'étude de la densité est, dans ces conditions, une question plutôt théorique, dont il doit être tenu compte dans toutes les expériences de résistance faites avec soin, car l'eau contenue dans le bois lui donne de la plasticité.

Ce fait est connu depuis longtemps; tous les ouvriers savent que pour utiliser le bois en pièces courbes comme les liens ou harts, la vannerie, les brancards de voitures, les pieds de chaises, etc., il faut mettre le bois en œuvre, lorsqu'il est encore gonflé de sève (à l'état vert comme on dit ordinairement), ou après une période d'immersion plus ou moins longue.

Les lanières d'osier, de coudrier, de chêne et châtaignier ne peuvent être utilisées pour la confection des objets de vannerie les plus grossiers ou les plus fins qu'après une immersion prolongée; à l'état sec, les parties courbes se brisent et les mannes ou paniers confectionnés se disloquent rapidement.

Les éprouvettes immergées soumises à la compression reprennent leur forme après des déformations souvent considérables qui n'auraient pu être atteintes sans rupture à l'état sec. Mais cette plasticité à l'état humide a aussi l'inconvénient de diminuer notablement la résistance aux forces qui agissent sur les pièces mises en place ou essayées; ce fait est facile à comprendre, puisque les forces agissent alors sur un corps plus mou.

L'eau contenue ou qui s'infiltre dans les bois mis en œuvre, a l'inconvénient de faciliter le travail des insectes qui viennent y creuser plus aisément des galeries pour rechercher leur nourriture dans certaines cellules ou simplement pour déposer leurs œufs au milieu d'un centre d'alimentation. Cette eau permet le développement des végétations inférieures qui en ont besoin pour transformer à leur profit les diverses parties du tissu. Aussi les bois exposés à l'humidité qu'ils absorbent si facilement, se décomposent beaucoup plus rapidement que ceux employés à l'abri, dans les bâtiments clos de diverses sortes.

Toutes les espèces ne se décomposent pas aussi facilement ou aussi rapidement; ce fait tient comme nous l'avons déjà dit, aux matières antiseptiques et conservatrices, produits accessoires de la végétation, qui imprègnent les tissus et se dissolvent dans les eaux d'imbibition ou empêchent leur pénétration.

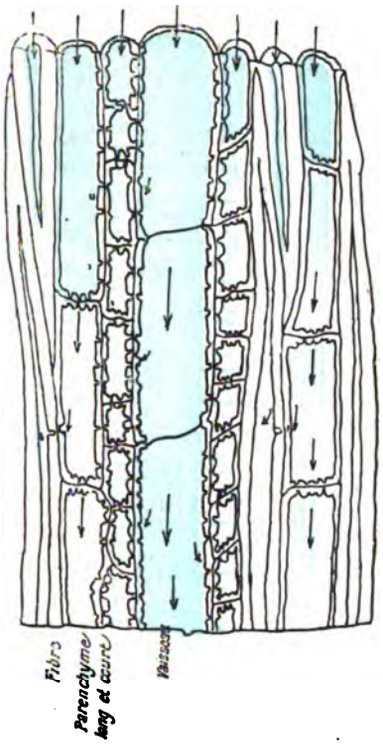
INJECTION DES BOIS.

Cette observation a amené les ingénieurs à essayer l'introduction de matières conservatrices dans certains bois peu durables. Ces essais ont réussi, et l'art de l'injection du bois s'est développé d'autant plus rapidement que les mines et les chemins de fer utilisent de grandes quantités de bois dans des milieux forcément humides. Sans étudier les diverses matières et méthodes employées, il peut être utile de dire quelques mots sur la façon dont l'injection se produit dans le tissu.

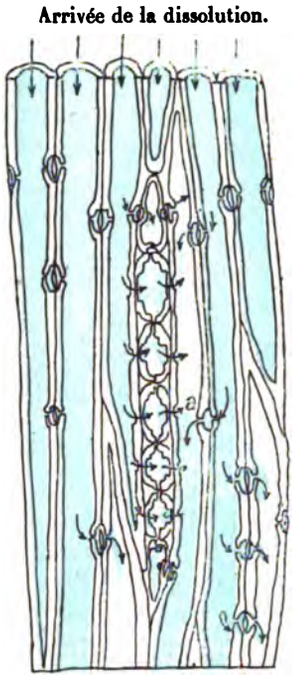
Les bois feuillus sont pourvus de vaisseaux plus ou moins ouverts, plus ou moins obstrués par des dépôts résiduaires ou des thylles. Plus ces vaisseaux sont ouverts et grands, plus le liquide à injecter y pénètre facilement. Il imprègne en même temps les parois, et par endosmose passe d'autant plus facilement dans les cellules voisines que la paroi est plus fine et les ponctuations plus nombreuses. Les parenchymes radial et vertical sont donc les premiers envahis, puis les fibres dont l'injection est souvent difficile à raison de l'épaisseur de leur parois et de leurs ponctuations rares et étroites. Il en résulte que l'injection se fait très facilement et régulièrement dans les bois comme le hêtre et le poirier, dont les vaisseaux sont nombreux et assez également répartis dans le tissu, et qui sont composés d'un mélange intime de fibres et de parenchymes entourant les vaisseaux. L'injection est, au contraire, très difficile et irrégulière dans le bois comme le karri et le jarrah dont les vaisseaux sont étroits et remplis de gomme, dans l'acacia dont les fibres forment des faisceaux compacts et relativement larges.

L'injection des bois résineux se produit plus difficilement et plus lentement que celle des bois feuillus à raison du manque de vaisseaux, des zones dures de bois d'automne, de l'existence de la résine dans les canaux et l'épaisseur des parois diverses. La transmission du liquide conservateur ne peut se faire que par voie d'endosmose, surtout au travers des ponctuations aréolées; mais en raison du peu d'épaisseur de la paroi séparative des aréoles, lorsque

l'on agit par fortes pressions il doit arriver qu'une partie de ces parois séparatives se brisent et la circulation peut se faire librement de l'une à l'autre des trachéides en contact (voir *a* dans la figure ci-dessus). La question de l'épaisseur des parois a son importance aussi, car le bois de



INJECTION DES BOIS FEUILLUS.



INJECTION DES BOIS RÉSINEUX.

printemps est toujours plus riche en produits introduits que le bois d'automne ; mais aussi ce dernier plus riche naturellement en résine, a moins besoin de cette injection.

Au sortir des appareils d'injection les bois se dessèchent ; les matières introduites par les dissolutions restent à l'intérieur du tissu, leur poids vient s'ajouter à celui du bois et modifie la densité. Les dissolutions se concentrent, et les matières introduites par l'eau peuvent cristalliser et se déposer dans les cavités. Elles forment ainsi des réserves qui pourront se redissoudre à nouveau, lorsque les bois seront envahis par l'humidité, de sorte que ni les insectes ni les végétaux ne pourront se développer dans les tissus injectés.

Un point important à étudier est celui des propriétés des matières d'injection, car il ne faut pas qu'elles nuisent au tissu, qu'elles puissent le décomposer ou l'affaiblir.

L'injection ayant eu surtout pour but d'augmenter la durée des bois, le but cherché a été atteint complètement par les procédés actuellement connus. Elle peut augmenter la dureté dans une certaine mesure en incrustant les parois ou remplissant les cellules ; mais il n'est pas établi qu'elle agisse de même sur les autres qualités de résistance des bois ; il paraît à première vue qu'elle peut les modifier en durcissant ou amollissant le tissu, suivant la nature de l'antiseptique employé, sels métalliques ou huiles.

L'intérêt principal de l'injection, outre l'augmentation de la « durabilité », est l'emploi de l'aubier comme du bois parfait, ce qui diminue énormément le déchet, et permet d'utiliser des bois d'un plus faible diamètre et par suite plus jeunes. Le producteur et le consommateur y trouvent donc chacun leur profit.

CONSTITUTION CHIMIQUE DU BOIS.

L'étude anatomique a fait reconnaître que le bois est composé de cellules variées et de matière intercellulaire, dont les propriétés physiques sont différentes, et que ce tissu est imprégné de corps multiples qui le colorent différemment suivant les espèces, et souvent pour la même

espèce suivant la profondeur dans la tige des accroissements examinés; enfin l'intérieur des cavités cellulaires peut être plus ou moins rempli de concrétions diverses, de cristaux, d'huiles grasses ou essentielles; tous ces corps peuvent, en outre, être semblables ou différents de ceux qui imprègnent le tissu suivant la nature de leur solubilité.

On conçoit combien, dans ces conditions, l'analyse et la spécification chimique du tissu est difficile, puisque les corps accessoires présents peuvent modifier complètement les résultats, si l'on n'a pas soin de les éliminer au préalable. Or, si un certain nombre sont connus et même parfois utilisés dans l'industrie, beaucoup restent encore ignorés ou incomplètement étudiés, par suite leur élimination est difficile ou problématique.

D'après Dutrochet et Payen, le tissu ligneux proprement dit séparé de tous les produits qui peuvent l'imprégner ou le remplir, se compose essentiellement de cellulose associée à une quantité plus ou moins grande d'un corps incrustant, mal défini appelé par eux *duramen*, d'après le nom donné par certains auteurs au bois parfait; ce corps se divise en quatre principes :

1° La *lignose,* soluble dans la dissolution de chaux et de soude;

2° La *lignone,* soluble dans la dissolution de chaux, de soude et d'ammoniaque;

3° Le *lignin*, soluble dans les mêmes dissolutions et l'alcool;

4° La *ligniréose*, soluble dans les mêmes dissolutions et l'alcool.

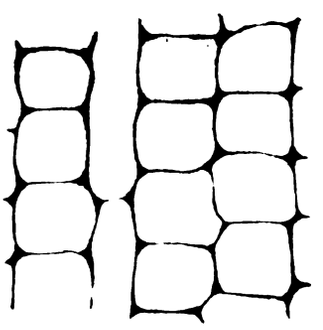
Cette théorie permettait d'expliquer facilement la différence entre l'aubier et le bois parfait, et les modifications de ce dernier suivant la proportion de ces diverses matières dans le duramen des différentes espèces. Elle n'était pas satisfaisante au point de vue anatomique, puisqu'elle ne différenciait pas les deux matières visibles par un simple examen au microscope. La cause de l'erreur provenait de ce que l'analyse avait porté sur l'ensemble du tissu de l'aubier, puis sur la totalité du bois parfait. Aussi cette théorie est aujourd'hui abandonnée depuis que divers auteurs ont montré qu'il était possible de différencier le tissu ligneux par des réactions de microchimie.

D'après Schacht, si l'on étudie trois coupes très minces de pin sylvestre par les trois procédés suivants on arrive à démontrer les propriétés chimiques variables de diverses parties du tissu.

1° La première coupe est mouillée pendant quelque temps avec de l'acide azotique.

La matière intercellulaire se colore en jaune et la membrane primaire de la cellule ligneuse se distingue nettement de ses couches d'épaississement moins fortement colorées que la matière intercellulaire.

Pin
immergé dans l'acide azotique.



Pin
immergé dans l'acide sulfurique.

Pin
immergé dans la dissolution de chlorate de potasse dans l'acide azotique.

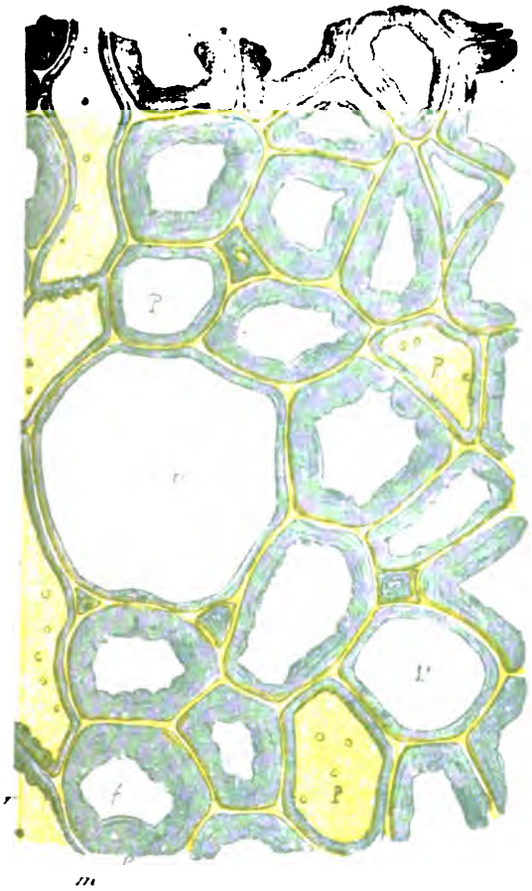
2° Si la seconde coupe est traitée par l'acide sulfurique, la substance intercellulaire se colore en brun et reste à l'état de réseau vide par suite de la disparition des parois des cellules.

3° Si on traite la troisième coupe par un mélange d'acide azotique et de chlorate de potasse : la matière intercellulaire disparaît et les cellules restent intactes, mais leurs épaississements se gonflent. Il en est de même lorsque l'on chauffe un petit morceau de bois dans la potasse caustique ou dans les sulfites de soude sous pression.

Une autre expérience montre encore la différence qui existe entre ces deux parties du bois, paroi des cellules et matière intercellulaire.

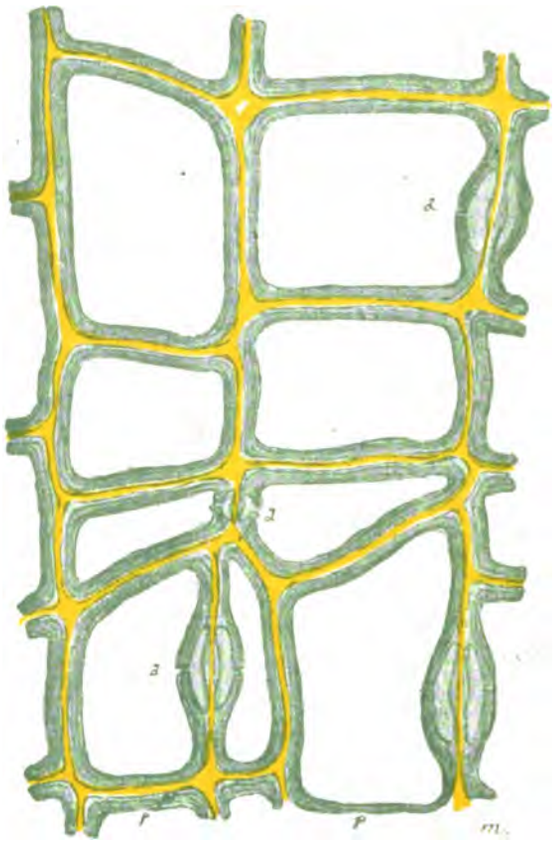
Si l'on immerge pendant quelques minutes des coupes minces de bois parfait de pin cembro et de chêne pédonculé conservées dans l'alcool, dans une solution à saturation de vert de méthyle dans l'alcool à 90 degrés: les coupes se colorent en vert clair et les limites des épaississements et des parois cellulaires apparaissent sous forme de lignes d'un vert plus foncé, la matière intercellulaire se teinte d'un vert plus pâle. Pour exagérer la différence, il suffit, après un lavage à l'eau, de plonger les coupes dans une solution à saturation d'acide picrique dans l'alcool à 90 degrés.

Dans le pin cembro, la matière intercellulaire devient franchement jaune, et dans le chêne



Chêne pédonculé, bois d'automne.
(600 diamètres environ.)

m, matière intercellulaire.
p, paroi.
p', limite des épaississements.
f, fibres.
r, rayons médullaires.
v, vaisseaux.
P, parenchyme.



Pin cembro, bois de printemps.
(600 diamètres environ.)

m, matière intercellulaire.
p, paroi.
p', limites des épaississements.
a, ponctuations aréolées.

pédonculé, elle apparaît incolore ou à peine teintée de vert jaunâtre, tandis que le surplus des deux coupes conserve les colorations vertes acquises dans le premier bain.

D'après Strasburger, le chloroiodure de zinc iodé permet de différencier la paroi même des cellules. Si l'on place sur une lamelle porte-objet des sections très minces (plus elles sont minces mieux la réaction apparaît) de pin cembro ou laricio et de chêne pédonculé et que l'on ajoute le chloroiodure ci-dessus, en le laissant agir sous la lamelle couvre-objet pendant plusieurs heures, on remarque les faits suivants :

Pour la coupe de cembro l'ensemble se colore en jaune brun; mais la plupart des parois des cellules des rayons médullaires, et toutes celles constituant les canaux résinifères se colorent en violet; de plus, dans maints endroits, les petites parois séparatives du fond des aréoles se colorent en violet, ainsi que le dernier épaississement strié des parois des trachéides les plus épaisses.

Dans le chêne, les parois des fibres se colorent en jaune brun, la matière intercellulaire en

brun, et les parois du parenchyme vertical en brun verdâtre avec une tendance à tourner au violet, surtout dans les jeunes bois. La coloration est franchement violette pour les parenchymes des pousses de cette essence, encore en voie d'allongement.

PINECMBRO. (300 diamètres. — Section tangentielle.)

C, canal résinifère (violet).
R, gouttelettes de résine (brun).
M, rayons médullaires (violet).
F, fibres (jaune brun).
F', fibres avec dernier épaississement teintées en violet.
I, matières intercellulaires (brun jaune).
m, méat intercellulaire.

PIN LARICIO DE CORSE. (300 diamètres. — Section radiale.)

C, canal résinifère (violet).
R, gouttelettes de résine (brun).
M, rayons médullaires dont les ponctuations sont seules colorées en violet.
F, fibres avec le fond des aréoles coloré en violet.
I, matières intercellulaires.
C', partie du rayon non coloré en violet.

Ces diverses expériences montrent que la distinction reconnue par l'examen anatomique et les essais techniques subsistent encore au point de vue chimique, et même que de nouvelles distinctions viennent encore s'établir et compliquer la question. Ces réactions sont d'autant plus difficiles à obtenir que le tissu est imprégné ou ses cavités remplies par des matières diverses secrétées pendant la vie végétale; les bois feuillus qui en contiennent une plus grande variété, laissent apercevoir plus difficilement que les bois résineux les colorations caractéristiques.

Les recherches de Frémy, d'Urbain, de Payen et de Billequin ont permis de définir les diverses substances constitutives du bois. Après avoir éliminé à peu près complètement par des lavages neutres n'attaquant pas le tissu (eau, alcool, éther), puis d'autres légèrement acides ou basiques (acide chlorydrique étendu et eau légèrement ammoniacale) les bois à analyser, ils ont obtenu une matière qui ne comprenait plus que les éléments constitutifs à déterminer.

Ils les ont divisés en deux :

1° La première qui forme les parois est la *cellulose* dont la composition est donnée par la formule chimique $(C^{12}H^{10}O^{10})^n$, elle se rencontre dans le règne végétal sous trois formes :

La *cellulose simple* $(C^{12}H^{10}O^{10})^6$.

La *paracellulose* ou cellulose condensée $(C^{12}H^{10}O^{10})^7$.

La *métacellulose* plus condensée encore $(C^{12}H^{10}O^{10})^{7+x}$.

La première forme la moelle, le tissu des jeunes cellules et une partie du parenchyme et des vaisseaux, elle est soluble dans le réactif de Schweitzer (oxyde de cuivre ammoniacal).

La seconde forme le surplus du bois, elle n'est plus soluble dans l'oxyde de cuivre ammoniacal qu'après avoir subi l'action de certains réactifs et notamment des acides.

La troisième est insoluble dans ce réactif, elle n'a été trouvée que dans les végétaux inférieurs et pas encore dans les bois analysés.

D'après Frémy, la proportion relative entre les deux premières celluloses qui se rencontrent dans les bois, est très variable.

Le sapin contient beaucoup plus de paracellulose que de cellulose, le chêne renferme 25 p. 100 de la première et 23 p. 100 de la seconde, le peuplier 36 p. 100 de l'une et 25 p. 100 de l'autre.

2° La seconde matière qui existe dans tous les tissus végétaux est la matière intercellulaire ou conjonctive des cellules. Frémy et Urbain la nomment *vasculose;* sa formule chimique serait d'après eux $C^{36} H^{20} O^{16}$, d'après Van Tieghem elle serait $C^{19} H^{12} O^{10}$.

Les recherches de Frémy et Urbain ont permis de reconnaître, comme l'examen anatomique le démontre, que cette matière varie de quantité avec les espèces. Leurs analyses ont donné les chiffres suivants :

	VASCULOSE.	CELLULOSE ET PARACELLULOSE.
Bois de peuplier	18 p. 100	64 p. 100.
— chêne	28 —	53 —
— buis	34 —	28 —
— ébène	35 —	20 —
— gaïac	36 —	21 —
— bois de fer	40 —	27 —
Moelle de sureau	25 —	38 p. 100 de paracellulose. 37 — cellulose.

D'après ces auteurs, la vasculose tendrait à augmenter dans le bois parfait, c'est-à-dire que la cellulose s'y déshydraterait et désoxygènerait. Mais il semble que l'on pourrait admettre aussi que sa production continuant dans cette partie du bois, et qu'agissant comme une sorte de gomme, elle y imprégnerait de plus en plus le tissu.

Le tableau ci-dessus montre que la vasculose devient plus abondante au fur et à mesure que le tissu ligneux devient plus dur, ce qui tendrait à confirmer la deuxième hypothèse, car l'examen microscopique ne laisse pas apparaître une matière intercellulaire plus large dans ces bois.

La densité de ces différents corps organiques varie de 1.25 à 1.45, d'après les chimistes cités.

On trouve donc encore dans ce fait, une nouvelle cause de variation de la densité dans les différentes espèces. Ces corps forment le tissu même, mais comme il a déjà été constaté, de nombreux autres corps peuvent les imprégner ou même remplir la vacuité des cellules et modifier leurs qualités de résistance; les décrire tous serait impossible, puisque beaucoup sont encore inconnus ou non étudiés; il faut toutefois en citer quelques-uns pour compléter cet exposé.

Dans l'aubier, il existe une grande quantité de diastases; chaque matière, chaque végétal possède pour ainsi dire les siennes destinées à transformer ou former certaines parties spéciales de la sève ou du tissu au moment de la croissance et pendant la période de vie active végétale. Ce sont des corps azotés quaternaires tels que l'*amylase*, l'*invertine*, la *pepsine*, l'*émulsine*, etc. A côté d'elles, d'autres corps quaternaires azotés forment les réserves nutritives, comme l'*asparagine*, la *glutamine*, la *leucyne*, la *tyrosine*, etc., ou des produits résiduaires comprenant des alcaloïdes, comme la *quinine*, la *cinchonine*, la *pipéridine*, la *cofféine*, etc.; et certaines matières colorantes, l'*anthocyanine* et l'*érythrophylle*, etc.

Lorsque la croissance cesse et que l'aubier se change en bois parfait, ces corps disparaissent; on ne trouve plus que des corps ternaires et binaires qui peuvent coexister dans l'aubier avec les précédents, et qui ont d'autant plus de tendance à disparaître qu'ils sont plus nutritifs et plus facilement transformables, et par suite attirés à la périphérie de la tige par les phénomènes de croissance.

Ces corps sont : l'*amidon*, l'*inuline*, les *dextrines*, les *gommes* (*arabine* de l'acacia, *viscine* du houx et du gui), les matières grasses, beurres et huiles végétales (beurre de cacao, huile d'olive, de noix, etc.), les essences (camphre), etc.;

Les corps sucrés, comprenant les glucoses et saccharoses diverses (sucre d'érable et *mélitose*), les *mannites* du frêne, de l'érable, la *dulcite* du fusain, la *pinite* des pins, la *quercite* des chênes, etc.;

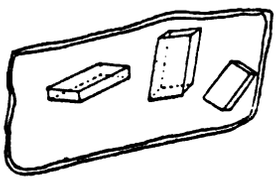
Les glucosides, corps neutres ou faiblement acides, qui se dédoublent facilement, tels que la *salicine* du saule, l'*esculine* du marronnier, la *coniférine* des abiétinées, le *tannin* du chêne, chataignier, bouleau, etc.;

Les matières colorantes, telles que la *brésiline* (bois du Brésil), la *santaline* (bois de santal), la *quercitrine* (chêne quercitron), *morine* (mûrier), etc.;

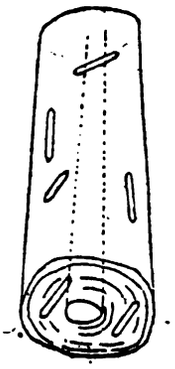
Enfin, les acides organiques, tels que l'acide *oxalique, acétique, malique*, etc.

Les combinaisons binaires donnent des essences, le caoutchouc et certaines résines encore mal définies dont la présence dans le bois est signalée par des odeurs caractéristiques agréables (cerisier mahaleb, bois d'iris, cèdre, genévrier, etc.) ou désagréables (cerisier à grappes, nerprun, bourdaine, etc.).

Mais tous ces corps ne sont que des combinaisons de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote et rarement de chlore et de soufre; par la combustion, ils ne devraient donner aucun résidu. Or, la combustion du bois laisse toujours un amas plus ou moins considérable de matières incombustibles et solides appelé cendres.



Cellules extrêmes du rayon médullaire du sapin pectiné avec des cristaux de carbonate de chaux.



Partie de fibre de teack avec des fines aiguilles de silice incrustées dans le paroi.[1]

L'examen anatomique permet bien de constater dans l'intérieur des lumens de certaines cellules des cristaux que l'analyse chimique démontre être des carbonates ou des oxalates de chaux, etc., et même dans l'intérieur de certaines parois des cristallisations comme la silice des fibres du bois de teack; mais lors même que l'œil ne reconnaît rien dans le tissu, si on en brûle une section transversale mince, on obtient par la combustion complète un résidu blanc dans lequel on discerne encore la forme de toutes les cellules, et même dans certains cas, une répartition différente du résidu sur l'emplacement de la matière intercellulaire et des parois. Ce fait démontre que la totalité du tissu est plus ou moins imprégnée de sels minéraux venant du sol par endosmose et que l'on avait éliminés dans les analyses chimiques précédemment relatées.

Chevandier, par des expériences faites dans les Vosges, a démontré que la teneur en cendres variait avec les espèces.

Bois de saule	2.00	p. 100 de cendres.
— tremble	1.73	—
— chêne	1.65	—
— charme	1.62	—
— aune	1.38	—
— hêtre	1.06	—
— pin sylvestre	1.04	—
— sapin	1.02	—
— bouleau	0.85	—

Violette a fait ressortir que dans le même arbre la proportion de cendres du bois variait avec les parties de la tige incinérée, ainsi que les chiffres suivants le prouvent pour le cerisier merisier.

Bois des brindilles	0.304 p. 100 de cendres.	
— branches moyennes	0.134	—
— grosses branches	0.354	—
— tronc	0.296	—
— grosses racines	0.231	—
— moyennes racines	0.223	—

Berthier, Malagutti et Durocher démontrèrent à leur tour que la composition des cendres variait avec les différentes espèces considérées (voir le tableau ci-contre).

Composition chimique des cendres de quelques espèces forestières d'après MM. Malaguti et Durocher.

(Extrait de la répartition des éléments inorganiques dans les principales familles végétales.)

ESPÈCES.	CHLORE.	ACIDE SULFURIQUE.	ACIDE PHOSPHORIQUE.	SILICE.	POTASSE.	SOUDE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	OXYDES D'ALUMINE, DE FER, de manganèse.	PARTIES SOLUBLES.	PARTIES INSOLUBLES.	OBSERVATIONS.
Chêne pédonculé	Traces	1.62	9.33	3.05	19.83	Traces	54.00	7.46	4.71	17.00	83.00	Les analyses ont porté sur des branches de 0.02 à 0.015 de diamètre non écorcées.
Chêne rouvre	0.30	1.61	7.41	1.38	11.60	2.18	70.14	4.97	0.41	14.77	85.23	
Pin du Nord	1.00	10.29	6.11	5.81	16.24	6.49	44.74	7.12	1.60	27.56	72.44	
Pin sylvestre	1.21	1.45	3.74	8.72	17.33	1.52	60.74	4.36	0.93	15.80	84.20	
Épicéa commun	2.07	1.60	2.60	12.55	12.84	5.65	58,27	2.81	1.60	17.20	82.80	
Peuplier d'Italie	0.29	0.74	11.52	0.30	10.17	0.52	71.25	4.84	0.17	10.54	89.46	
Peuplier tremble	Traces	0 32	13.30	1.61	13.44	Traces	66.50	3.23	1.60	7.00	93.00	
Peuplier de Virginie	0.47	4.07	14.47	1.86	11.32	1.58	49.10	7.66	4.47	11.00	89.00	
Peuplier noir	Traces	1.40	11.00	3.69	16.90	Traces	52.54	11.67	2.80	15.00	85.00	
Peuplier blanc	Traces	0.85	15.20	2.68	18.00	Traces	51.83	9.84	1.70	20.50	79.50	
Saule cendré	0.70	3.07	16.35	0.70	11.37	5.61	50.77	10.13	1.30	16.00	84.00	
Orme	0.77	5.42	9.61	6.16	24.08	2.10	37.93	10.01	3.92	29.55	70.45	
Alisier torminal	0.60	0.31	4.47	3.04	9.25	1.26	64.48	13.00	3.65	12.36	87.64	
Merisier	0.14	1.25	4.91	6.24	10.41	6.22	60.31	8.68	1.84	14.83	85.17	
Acacia	0.47	3.56	11.51	2.71	10.53	5.66	58.30	6.79	0.47	16.90	83.10	
MOYENNE	0.50	2.50	9.44	4.03	14.22	2.59	56.73	7.50	2.08	17.57	82.43	

MM. Fliche et Grandeau établirent par leurs recherches que la quantité de la cendre variait pour la même espèce avec les sols nourissant les arbres, et qu'en outre, ces sols influaient beaucoup sur la quantité des corps divers contenus dans les cendres d'une même espèce. Ce fait se conçoit du reste assez aisément puisque les racines absorbent par endosmose les dissolutions variables avec les sols portant les végétaux.

Ainsi le pin maritime donne 1.53 p. 100 de cendres dans les sols crayeux et 1.32 p. 100 dans les sols marnosiliceux; dans les mêmes conditions, le châtaignier produit 5.71 p. 100 et 4.74 p. 100 de cendres.

Le tableau ci-dessous donne la composition de ces cendres.

SUBSTANCES MINÉRALES DE LA CENDRE.	PIN MARITIME CRÛ EN SOL		CHÂTAIGNIER CRÛ EN SOL		OBSERVATIONS.
	CRAYEUX.	MARNO-siliceux.	CRAYEUX.	MARNO-siliceux.	
Chlore	"	"	0.08	"	Les cendres provenaient de rameaux non écorcés et munis de leurs feuilles.
Acide sulfurique	"	"	0.64	1,43	
Acide phosphorique	9.14	9.00	4.27	4.53	
Silice	6.42	9.18	1.36	3.08	
Potasse	4.95	16.04	2.69	11.65	
Soude	2.52	1.91	0.28	"	
Chaux	56.14	40.20	87.30	73.26	
Magnésie	18.80	20.09	2.07	3.99	
Oxyde de fer	2.07	3.83	1.27	2.04	

Malgré cette variabilité, la proportion de cendres étant toujours très faible par rapport au poids total du bois, nous ne pensons pas qu'elle ait une très grande influence sur les qualités de résistance. Dans quelques cas rares, comme pour le teack, où le dépôt minéral est apparent et constitué par des incrustations, il est certain que la dureté du bois peut être augmentée et même que sa mise en œuvre peut être rendue plus difficile, car il use plus rapidement les outils.

Si l'étude anatomique a montré combien la texture du bois pouvait modifier ses qualités, l'exposé de sa constitution chimique démontre combien ces qualités peuvent encore varier soit avec la composition chimique intime du tissu, soit avec les corps accessoires qui l'imprègnent ou garnissent ses cavités.

Les huiles et corps gras, les essences peuvent l'assouplir, l'amollir, le rendre odorant jusqu'à un point tel qu'il est désagréable d'employer dans les intérieurs le cèdre et le genévrier sabine.

Les résines le durcissent en le rendant plus combustible, plus translucide, plus résistant à l'humidité, et après l'évaporation de l'essence de térébenthine ou de ses analogues, plus cassant et plus difficile à travailler.

La cire lubréfie les surfaces vues des ouvrages en érable et en sophora.

Les tannins, la robinine et d'autres violents antiseptiques rendent certains bois d'autant plus durables que les matières sont elles-mêmes plus stables, plus abondantes et moins facilement solubles dans l'eau.

Par leur variété, les matières colorantes ont permis de créer l'art de la marqueterie ou mosaïque en bois; leurs éclats et leurs nuances font le prix de maintes espèces comme l'acajou, le bois de rose, l'ébène, le noyer, le palissandre, le chêne, le thuya, l'if, etc.; leur abondance est telle dans certains bois qu'ils sont utilisés comme matière colorante (bois de santal, d'épine-vinette, etc.).

Par leur présence, les principes sucrés, azotés et fermentescibles rendent impropre à tout service le bois le mieux constitué comme les aubiers de chêne, de pin, etc.

Enfin, l'instabilité de certains produits végétaux, leur combinaison entre eux peuvent modifier la qualité technique du tissu, et le rendre impropre à des usages qui sembleraient bien appropriés à sa texture (bois de hêtre non injecté, etc.).

La complexité de ces questions anatomiques et chimiques a été la raison pour laquelle jusqu'à ce jour, les praticiens ont toujours préféré les renseignements fournis par l'expérience à ceux déduits d'études scientifiques si délicates. Mais cette raison n'est pas suffisante pour y renoncer, et dans maintes circonstances, les études entreprises ont pu rendre de grands services. Les pays étrangers ont pu répandre dans le monde des espèces peu connues précédemment, qui grâce aux renseignements scientifiques très complets fournis au commerce, viennent supplanter quelquefois bien à tort les meilleurs produits indigènes.

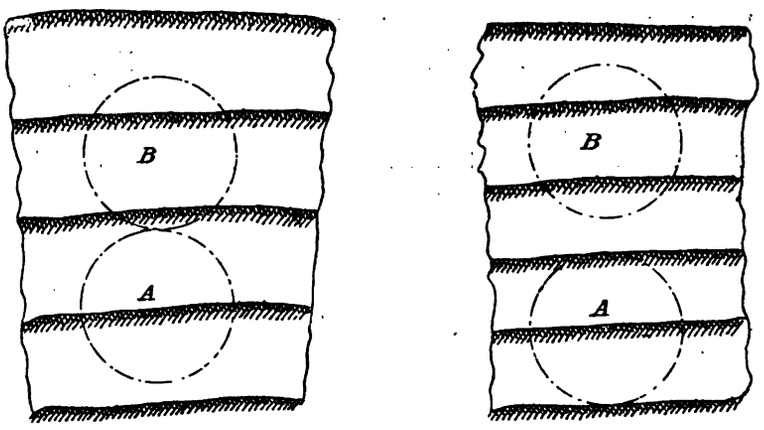
CONCLUSIONS.

Les exposés précédents ont établi combien la matière ligneuse est différente des autres au point de vue de la résistance. On ne se trouve pas, comme pour les métaux, en face d'un corps compact, mais bien au contraire d'un corps poreux, spongieux, dont la porosité et les vacuités varient avec chaque espèce, chaque échantillon, et souvent même avec les diverses parties de cet échantillon; enfin dont l'état hygrométrique du milieu modifie la plasticité.

Les études à faire sont donc beaucoup plus nombreuses que pour les métaux, et les chiffres obtenus ne sont que des moyennes à appliquer avec la plus grande discrétion, si l'on ne peut bien établir dans quelles conditions elles ont été obtenues.

La dimension des éprouvettes a une importance sur laquelle on ne saurait trop insister, surtout pour les bois où la zone de printemps et celle d'automne sont bien caractérisées; l'éprouvette doit être assez grande pour comprendre plusieurs accroissements complets : 0 m. 05 à 0 m. 10 de côté doivent au moins être donnés à toute éprouvette; les éprouvettes de moindre dimension de $0^{m}02$ par exemple sont beaucoup trop petites pour des arbres à croissance rapide; prises côte à côte sur le même rayon, elles donnent des renseignements qui peuvent être absolument contradictoires suivant la proportion de bois de printemps ou d'automne qui sera soumise à l'essai.

Il est aussi des plus intéressants de noter lors des expériences la forme des accroissements dans les éprouvettes; souvent dans les séries d'expériences examinées, nous avons pu constater que les différences relevées dans les résultats ne tenaient qu'à la direction ou à l'emplacement

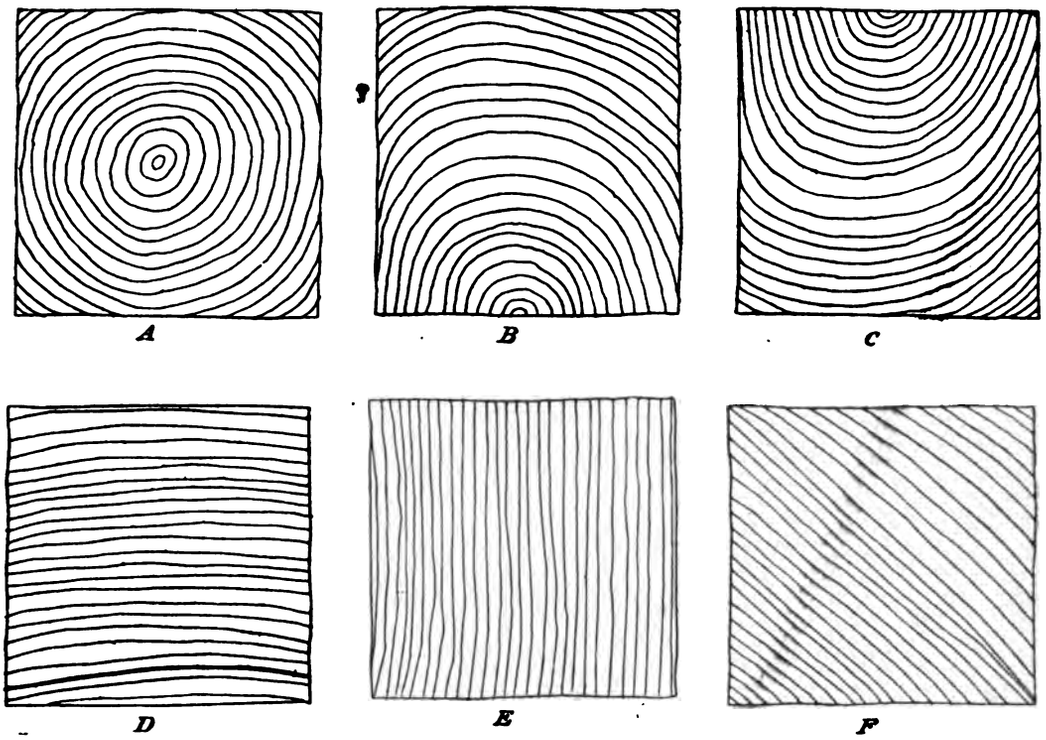


Position de petits échantillons pour les expériences à la traction
pris dans des bois à croissance rapide
et qui doivent donner des résultats très différents.

du débit de l'éprouvette dans la tige. Il est évident, par l'inspection des six schémas ci-contre, qu'une force de compression ou de flexion, agissant normalement à la face supérieure, ne rencontrera pas la même résistance dans les six cas représentés. Dans le premier cas, en supposant que le bois est du sapin muni d'un bois d'automne bien caractérisé, A, la force agira sur une série de cylindres encastrés les uns dans les autres; dans le second cas, B, sur des voûtes successives; dans le cas D, l'affaissement des plans durs et compacts du bois d'automne séparés par le bois de printemps doit s'opérer beaucoup plus rapidement que dans le cas E où ils résistent eux-mêmes à la force.

Par suite même de ces différences de résistance, il convient de ne pas soumettre aux essais les bois noueux ou pris près des embranchements. Si le fait existe dans une éprouvette, il conviendra de noter la direction verticale des couches et de ne pas comprendre dans les moyennes

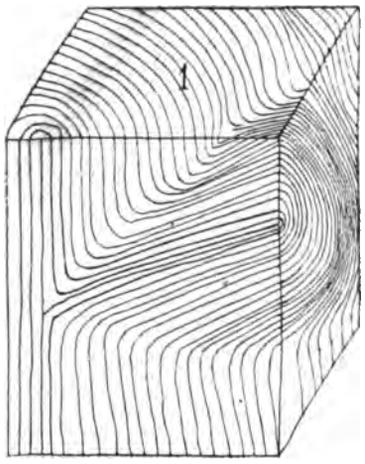
les chiffres obtenus, car suivant l'importance de l'inflexion, le résultat peut se rapprocher soit de la résistance parallèle, soit de celle perpendiculaire à la direction des fibres, et cette donnée



Positions diverses des accroissements des éprouvettes prélevées dans un tronc de sapin.

intermédiaire n'aurait rien de la précision scientifique. Si le nœud était invisible au moment de la mise en place de l'éprouvette, l'expérience serait de même viciée, et il conviendrait de rejeter le chiffre obtenu, ou de le prendre simplement comme un renseignement de comparaison en notant la dimension de ce nœud.

Lorsque la direction des fibres est torse, madrée ou ondulée, il est nécessaire encore d'en tenir compte, car tous ces états modifient les résultats.

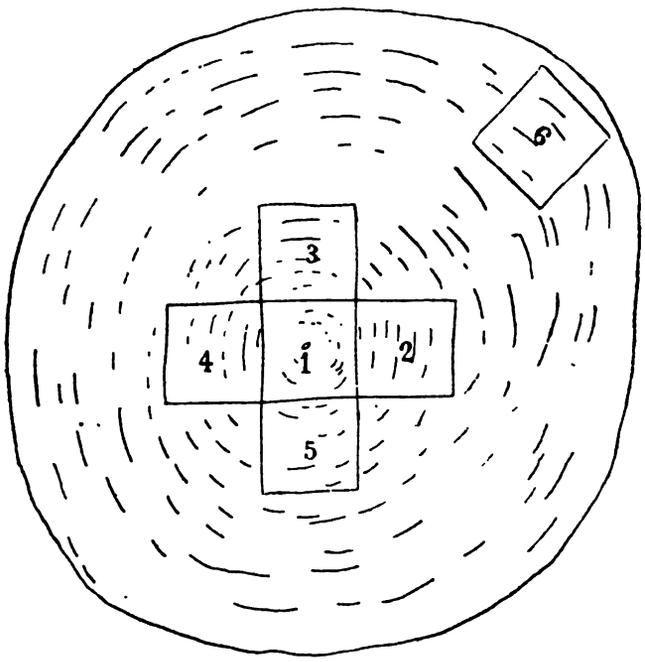


Éprouvette prise près d'un embranchement.

Ces quelques considérations ont conduit les différentes personnes qui se sont occupées d'essai technique sur les bois à spécifier exactement l'emplacement à donner dans un tronc aux diverses éprouvettes destinées aux épreuves.

Le croquis ci-dessous qui donne les emplacements désignés par l'Institut suisse d'essai des matériaux, établi à Zurich, semble devoir être adopté aussi pour les essais des autres pays. Il

permet en effet d'étudier les conditions de résistance sous toutes les formes principales notées dans les schémas ci-dessus.



Emplacement des éprouvettes
à prélever dans une bille de bois.

Si l'on rapproche les conclusions de l'étude précédente de celles présentées à la Commission par M. Bès de Berc, le 15 avril 1895, il semble que ces dernières devraient être complétées ou modifiées sur quelques points.

I. — Caractères physiologiques et essais organoleptiques.

En tête du premier paragraphe, il serait bon de mettre :

« L'espèce botanique du bois étudié devra être donnée avec la plus grande précision, et avec l'indication du botaniste descripteur. »

Le deuxième paragraphe relatif à l'examen microscopique devrait être complété ainsi :

« On procédera à un examen microscopique à l'aide de copeaux ou tranches minces prélevées au microtome dans les trois sens ci-après :

« Section transversale perpendiculaire à l'axe de croissance ;

« Section tangentielle aux accroissements et parallèle à l'axe de croissance ;

« Section radiale passant par l'axe de croissance et un rayon de la bille perpendiculaire à cet axe. »

« ces copeaux, etc...

Même paragraphe (*a*) :

« On notera spécialement le nombre des couches annuelles depuis le pourtour jusqu'au centre, si on est en possession d'une tranche complète de l'arbre, leurs épaisseurs maxima, minima et moyenne, leur disposition régulièrement concentrique ou excentrique, les variations de leur épaisseur, leur direction plus ou moins rectiligne parallèlement à l'axe de croissance, l'importance relative du bois d'automne et du bois de printemps, ou l'homogénéité plus ou moins grande du tissu. »

Même paragraphe (*c*) :

« Le mode de groupement et la grosseur des vaisseaux, la disposition relative des fibres du parenchyme et des rayons médullaires, et autant que possible la proportion existant entre ces diverses parties du tissu. »

Même paragraphe (*d*) :

« Le degré d'obstruction des vaisseaux par les thylles ou diverses matières; la nature de ces matières et de celles qui incrustent ou imbibent les parois (sels calcaires, etc.). »

Même paragraphe (*e*) :

La qualité du bois représentée par les mots gras et maigre semble mal définie. Le mot gras s'appliquant à la fois au bois de chêne crû lentement et facile à travailler, et à des bois résineux trop imprégnés de résine, il vaudrait mieux dire :

« La qualité du bois au point de vue du travail, sa couleur, etc. . . ses différents retraits (longitudinal, radial et circonférentiel). »

Si une étude chimique était entreprise, elle devrait indiquer notamment : « La proportion entre la cellulose, la paracellulose et la vasculose, la quotité des cendres, les divers produits contenus dans les cavités des cellules, et ceux qui les imprègnent. »

Pour les essais mécaniques, il conviendrait qu'un schéma indiquant l'emplacement des éprouvettes dans la tige fut discuté et adopté; celui de l'Institut d'essai de Zurich paraît bien étudié et peut être accepté. En tête de ce paragraphe, il conviendrait d'énoncer que :

« Si l'on étudie des billes de bois en grume, les échantillons seront prélevés dans ces billes aux places indiquées par le schéma ci-contre; si l'on étudie des pièces déjà équarries, les échantillons seront prélevés de façon à se rapprocher le plus possible des emplacements ci-dessus indiqués. »

A. *Résistance à la flexion, avant-dernier paragraphe.* Pour répondre aux diverses observations faites pendant l'étude analytique précédente, il semble nécessaire de compléter ainsi ce paragraphe :

« L'épreuve portera sur six éprouvettes à l'état sec, prélevées de la façon suivante : une première éprouvette prise au centre de l'arbre, de manière à agir sur des accroissements entièrement circulaires; deux prises près de ce centre, de manière à agir sur l'une en fléchissant vers le centre, et sur l'autre en fléchissant vers la périphérie de la tige; deux autres prises dans le bois parfait seront soumises à des flexions normale et parallèle aux plans des accroissements successifs; enfin, une dernière sera prise dans l'aubier et subira une flexion perpendiculaire aux plans des accroissements. »

B. *Résistance à l'écrasement.* Il peut être intéressant d'augmenter le nombre des expériences pour connaître l'écrasement perpendiculaire aux fibres, le paragraphe 3 devra être complété ainsi :

« L'épreuve faite perpendiculairement aux fibres s'exécutera sur trois éprouvettes placées à plat entre les deux plateaux. La première sera prise au centre de la tige, de manière à agir sur des accroissements complets; les deux autres prélevées latéralement seront pressées : la première, vers le centre de la tige, et la seconde, perpendiculairement à cette direction. »

C. *Résistance à la traction.* Le premier paragraphe sera modifié ainsi :

« Pour les bois à croissance rapide, l'épaisseur de l'éprouvette sera portée à cinq centimètres, afin d'avoir une série de plusieurs accroissements soumis à l'essai. »

D. *Résistance au cisaillement.* Il convient d'ajouter : « L'essai sera fait sur quatre éprouvettes de la façon suivante : deux seront soumises au cisaillement dans le sens perpendiculaire aux fibres; dans la première, la force agira dans le sens radial, et dans la seconde, dans le sens tangentiel de la tige. Les deux autres seront éprouvées au cisaillement dans le sens parallèle aux fibres, les directions étant radiales ou tangentielles comme dans les deux premières épreuves. »

E. *Résistance à l'usure.* Le deuxième paragraphe pourrait être ainsi modifié :

« Deux éprouvettes seront essayées à l'état sec, l'une perpendiculairement et l'autre parallèlement à la direction des fibres, etc.

F. *Résistance aux chocs et autres essais mécaniques.* A ajouter : « Dans ces diverses expériences l'attention des expérimentateurs est attirée sur l'utilité et la nécessité qu'il y a à répéter les essais suivant différentes directions perpendiculaires entre elles. »

En résumé, nous proposons les conclusions suivantes :

I. — CARACTÈRES PHYSIOLOGIQUES ET ESSAIS ORGANOLEPTIQUES.

On relatera, autant que possible, toutes les indications relatives à la provenance, à l'âge et à l'époque de l'abatage des bois, aux conditions dans lesquelles l'arbre a vécu (nature du sol, climat, genre de culture, etc.), et, s'il s'agit de petits échantillons, à la partie de l'arbre à laquelle appartient l'échantillon. L'espèce botanique du bois étudié devra être donnée avec la plus grande précision et avec l'indication du botaniste descripteur.

On procédera à un examen microscopique de copeaux ou tranches extrêmement minces, prélevés au microtome sur les bois à étudier dans les trois sens ci-après indiqués :

Section transversale perpendiculaire à l'axe de croissance;

Section tangentielle aux accroissements et parallèle à l'axe de croissement;

Section radiale passant par l'axe de croissance et un rayon de la bille perpendiculaire à cet axe.

Ces copeaux, examinés par transparence, feront ressortir les caractères physiologiques et les propriétés organoleptiques des bois.

On notera spécialement :

a) Le nombre des couches annuelles, depuis le pourtour jusqu'au centre, si on est en possession d'une tranche complète de l'arbre;

Leur épaisseur maxima, minima, et moyenne, leur disposition régulièrement concentrique ou excentrique, les variations de cette épaisseur;

Leur direction plus ou moins rectiligne parallèlement à l'axe de croissance, l'importance relative du bois de printemps ou du bois d'automne ou l'homogénéité plus ou moins grande du tissu;

b) L'épaisseur de l'aubier;

c) Le mode de groupement et la grosseur des vaisseaux, la disposition relative des fibres, du parenchyme et des rayons médullaires, et autant que possible la proportion existant entre les diverses parties du tissu;

d) Le degré d'obstruction des vaisseaux par les thylles ou matières diverses, la nature de ces matières et de celles qui incrustent ou imbibent les parois (sels calcaires ou sels minéraux divers, silice, principes huileux ou résineux, gommes, etc.);

e) La qualité du bois au point de vue du travail : sa couleur, son odeur et la nature du grain, ses différents retraits dans les trois sens, longitudinal, radial et circonférentiel;

f) Si l'étude chimique était entreprise, elle devrait indiquer notamment : la proportion entre la cellulose, la paracellulose et la vasculose, la quotité des cendres, les divers produits végétaux ou minéraux contenus dans les cavités des cellules et ceux qui imprègnent les parois.

II. — VICES ET TARES.

On recherchera les vices et tares (pourriture humide ou sèche, grisette et ses variétés, nœuds, cadranures, roulures, gélivures, frottures, lunure ou double aubier, entr'écorces, fibres torses, fentes et gerçures, piqûres de vers, etc.).

III. — APTITUDE À LA CONSERVATION.

Si le bois est vierge, on recherchera, par une expérience directe, quelle est son aptitude à l'injection.

Si le bois est injecté, on examinera la nature de la préparation antiseptique qu'il a absorbée et la profondeur de l'absorption.

IV. — ESSAIS PHYSIQUES.

On procédera suivant les procédés employés pour les pierres, à la détermination de la densité apparente, à l'état sec, et à l'état d'imbibition complète, ce dernier état étant défini par la constance du poids de l'éprouvette imbibée.

(La durée de l'immersion est variable suivant la porosité du bois expérimenté.)

On mesurera également, par les mêmes procédés, le pourcentage d'humidité contenue dans l'échantillon soumis à l'examen, à l'état où il se trouve au moment de sa présentation.

V. — ESSAIS MÉCANIQUES.

Si l'on étudie des billes de bois en grume, les échantillons seront prélevés dans ces billes aux places indiquées par le schéma (voir page 215); si l'on étudie des pièces déjà équarries, les échantillons seront prélevés de façon à se rapprocher le plus possible des emplacements indiqués sur ledit schéma.

A. — *Résistance à la flexion. — Module d'élasticité.*

On mesurera la résistance à la flexion et le module d'élasticité sur des éprouvettes carrées de 0 m. 10 de côté et de 1 m. 50 de longueur entre les points d'appui, chargées en leur milieu de poids régulièrement croissants.

Ces éprouvettes seront débitées à la scie, à vives arêtes, et suivant des faces rigoureusement perpendiculaires deux à deux.

L'orientation des couches annuelles par rapport à la direction de l'effort de flexion devra être soigneusement notée, cette orientation étant de nature à modifier les résultats de l'épreuve.

On devra préserver les fibres de l'éprouvette de toute morsure des couteaux ou pivots qui servent de points d'appui ou de pression, en interposant, entre elles et les couteaux ou pivots, des cales en bois suffisamment épaisses ou des cales métalliques.

L'intensité des charges doit être calculée de telle sorte que le temps total de l'épreuve, arrêtée au moment où cesse la proportionnalité entre les charges et les flèches, n'excède pas 8 à 10 minutes.

L'enregistrement des flèches sear fait au dixième de millimètre.

Le module d'élasticité E sera calculé suivant la formule usuelle.

$$E = \frac{L^3}{4\,bh^3}\frac{P}{f},$$

où L est la distance entre les points d'appui,

P la charge au milieu,

f la flèche,

b la largeur et h la hauteur de l'éprouvette.

L'épreuve portera sur six éprouvettes au moins à l'état sec, et sur trois éprouvettes à l'état d'imbibition complète. Les épreuves à l'état sec seront faites de la façon suivante : la première

éprouvette, prise au centre de l'arbre, permettra d'étudier la flexion sur des accroissements entièrement circulaires ; deux éprouvettes prises près du centre seront essayées, l'une en fléchissant vers le centre, l'autre en fléchissant vers la périphérie de la tige. Deux autres, prises dans le bois parfait, seront soumises à des flexions normale et parallèle aux plans des accroissements successifs ; enfin, une dernière sera prise dans l'aubier et subira une flexion perpendiculaire aux plans des accroissements.

On mesurera la résistance à la rupture par flexion en poussant l'épreuve jusqu'à la rupture, sur les mêmes éprouvettes, et en notant le poids qui aura déterminé la ruptures.

B. — *Résistance à l'écrasement.*

On mesurera la résistance à l'écrasement, caractérisée par un commencement de séparation des fibres, parallèlement et perpendiculairement aux fibres, sur des éprouvettes carrées de 0 m. 10 de côté et de 0 m. 15 de hauteur, débitées à la scie de façon que leurs fibres soient bien parallèles aux grandes faces, et rigoureusement perpendiculaires aux petites.

L'épreuve faite parallèlement aux fibres s'exécutera en plaçant les éprouvettes debout entre les deux plateaux d'une presse hydraulique.

L'épreuve faite perpendiculairement aux fibres s'exécutera sur trois éprouvettes placées à plat entre les deux mêmes plateaux. La première sera prise au centre de la tige, de manière à agir sur des accroissements complets ; les deux autres, prélevées latéralement, seront pressées : la première vers le centre de la tige, et la seconde perpendiculairement à cette direction.

On notera la charge d'écrasement et la surface portante, dans les deux cas, et on rapportera la résistance au centimètre carré de la surface portante.

Trois éprouvettes au moins seront essayées à l'état sec, et trois à l'état d'imbibition, dans l'une et l'autre épreuve.

C. — *Résistance à la traction.*

On mesurera la résistance à la traction sur des éprouvettes rectangulaires de 0 m. 06 sur 0 m. 02 de section, et de 0 m. 30 de longueur ; les têtes, à section carrée, auront 0 m. 08 de côté et 0 m. 10 de longueur. Pour les bois à croissance rapide, l'épaisseur de l'éprouvette sera portée à 0 m. 05 afin de soumettre à l'essai plusieurs accroissements successifs.

Ces têtes seront saisies entre les mâchoires d'une machine de traction ordinaire, munies de mordaches à coins pour empêcher le glissement pendant le traction.

Les éprouvettes devront être travaillées de façon à éviter autant que possible de couper les fibres.

On notera la charge de supture par millimètre carré de la section de la partie utile, avant traction.

L'essai portera, comme les précédents, sur trois éprouvettes au moins à l'état sec, et sur trois éprouvettes à l'état d'imbibition.

D. — *Résistance au cisaillement.*

La résistance au cisaillement sera mesurée, au moyen de l'appareil employé par M. Johnson au laboratoire de Saint-Louis, sur des éprouvettes carrées de 0 m. 05 de côté, et de 0 m. 20 de longueur, percées près de chacune de leurs extrémités d'une mortaise rectangulaire de 0 m. 025 de largeur ; chaque mortaise est défoncée par une clavette en fer rectangulaire de même épaisseur, actionnée par une machine à traction.

Les deux joues de chaque mortaise sont maintenues contre l'écartement par une petite crampe à vis dont on règle le serrage au degré juste nécessaire pour sa tenue en place.

Les deux mortaises sont dirigées à angle droit l'une de l'autre, de façon à donner la résistance au cisaillement dans les deux sens perpendiculaires.

On notera la charge sous laquelle chacune des mortaises a été défoncée et on la rapportera à la surface de glissement sur laquelle a porté l'effort.

L'essai sera fait sur quatre éprouvettes de la façon suivante : deux seront soumises au cisaillement dans le sens perpendiculaire aux fibres, dans la première la force agira dans le plan radical et dans la seconde dans le plan perpendiculaire, les deux autres seront éprouvées au cisaillement dans le sens parallèle aux fibres, la force agira dans des plans radiaux et tangentiels aux accroissements.

E. — *Résistance à l'usure par le frottement.*

On mesurera la résistance a l'usure par le frottement, quand l'emploi des bois le comportera, au moyen de l'appareil utilisé au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées pour mesurer la résistance des pierres au même genre d'effort. Les éprouvettes, à section rectangulaire, auront 0 m. 06 sur 0 m. 04 de base et 0 m. 12 de hauteur. Elles seront placées deux par deux sur la meule tournante en fonte, saupoudrée d'émeri n° 3, chacune de leurs extrémités portant à tour de rôle sur la surface frottante, sous une charge de 250 grammes par centimètre carré.

Deux éprouvettes seront essayées à l'état sec, l'une perpendiculairement et l'autre parallèlement à la direction des fibres, et deux à l'état d'imbibition complète.

F. — *Résistance au choc et autres essais mécaniques.*

L'essai de résistance au choc et divers autres essais mécaniques que l'emploi des bois pourrait rendre nécessaires n'ont pas été jusqu'à ce jour l'objet d'expériences suffisamment prolongées pour qu'il soit possible d'en fixer les règles. Dans ces diverses expériences, l'attention des expérimentateurs est attirée sur l'utilité et la nécessité qu'il y a à répéter les essais suivant différentes directions perpendiculaires entre elles.

Il est à souhaiter que ces expériences soient poursuivies dans les divers laboratoires.

Paris, le 10 mai 1899.

André THIL.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Introduction 129

Conifères 131

Trachéides ou fibres aréolées 132
Rayons médullaires 137
Parenchyme ligneux vertical ou cellules ou canaux résinifères 142
Moelle 145
Matière intercellulaire 147

Bois feuillus 150

Fibres 151
Vaisseaux 155
Parenchyme ligneux ou vertical 170
Rayons médullaires 173
Moelle 182
Matière intercellulaire 186
Entre-écorce 189
Canaux laticifères 191

Constitution générale des bois d'œuvre 192

Formation des tiges 192
Aubier et bois parfait 196

Densité 199

Eau contenue dans le bois et hygroscopicité 202

Injection des bois 204

Composition chimique 205

Conclusions 213

TABLE DES FIGURES.

	Pages.
Schéma des sections d'étude des bois	129
Section transversale de pin maritime (70 δ)	131
Trachéides aréolées de pin maritime (S. R., Ph., 70 δ)	132
— de cyprès pyramidal (S. R., Ph., 70 δ)	132
Ponctuation aréolée (S. R.)	132
— (S. Tg.)	133
Paroi des trachéides de pin maritime (S. R., 430 δ, Ph.)	133
— de genévrier thurifère (S. R., 590 δ, Ph.)	133
— de mélèze (S. R., 590 δ, Ph.)	133
— — (S. Tg. —)	134
— d'if (S. R., 430 δ, Ph.)	134
Sapin pectiné (S. T. 60 δ, Ph. C. Th.)	134
Genévrier commun (—)	134
Mélèze à croissance rapide (S. T., 70 δ, Ph.)	135
— — lente (S. T., 70 δ, Ph.)	135
Pin maritime avec double zone d'automne (S. T. 170 δ, Ph.)	136
— (S. T. 430 δ, Ph.)	137
Rayons médullaires du thuya ou callitris quadrivalvis (S. Tg., 70 δ, Ph.)	138
— du sapin pinsapo (S. Tg. 70 δ, Ph.)	138
— du pin laricio (S. R., 70 δ, Ph.)	139
Schéma de rayon médullaire. (S. Tg., 600 δ)	139
— — (S. R., 600 δ)	139
— du mélèze, avec canaux résinifères radiaux (S. Tg., 70 δ, Ph.)	140
Schéma d'une section transversale soumise au retrait	140
1er schéma de la rupture par compression	141
2e — — —	141
Cellules résinifères du genévrier thurifère (Ph.)	142
Sapin pinsapo, groupe de cellules résinifères (S. T., 430 δ, Ph.)	143
Canaux résinifères du mélèze (S. T., 430 δ, Ph.)	143
Canal résinifère du pin maritime (S. Tg., 350 δ)	144
Canal résinifère du pin maritime (S. T., 430 δ, Ph.)	144
Canal résinifère du pin sylvestre (S. Tg., 350 δ.)	145
Moelle (S. T.)	145
Moelle et disposition des rayons	146
Schéma du retrait	146
Sapin, débit sur mailles	147
— ordinaire	147
Schéma de l'usure du pavé en bois résineux	148
— de la rupture par compression	148
— — par traction	148
Méat intercellulaire de l'araucaria (S. T.)	148
Matière intercellulaire dans le bois d'automne du pin (S. T.)	148
Méats autour des rayons (S. Tg.)	149
Plissement et décollement des parois	149
Alisier torminal (S. T., 30 δ, Ph. C. Th.)	150
Orme champêtre (S. T., 11 δ, Ph.)	150
Chêne pédonculé (S. T., 12 δ, Ph.)	150
Fibres (schéma)	151
Déviation des fibres par les rayons médullaires	152
Fibres ondulées ou madrées	152

NOTA. — Les abréviations suivantes signifient :

S. T..... Section transversale.
S. Tg..... Section tangentielle.
S. R..... Section radiale.
δ..... Nombre de diamètres du grossissement microscopique.
Ph..... Photographie.
Ph. C. Th. Photographies de la collection faite par MM. Thouroude et Thil à l'occasion de l'Exposition de 1889.

Pages.
Ponctuations des fibres de peuplier et de hêtre 152
Robinier pseudo-acacia (S. T.). Fibres en faisceau compact (300 δ) 153
Frêne commun (S. T.), Fibres en faisceau interrompu radialement (300 δ) 153
Chêne pédonculé (S. T.). Fibres en faisceau interrompu tangentiellement (300 δ) 154
Hêtre commun (S. T.). Fibres en mélange intime avec le parenchyme et les vaisseaux (300 δ) 154
Peuplier noir (S. T.). Fibres en masse semée de vaisseaux 154
Noyer commun (S. T.). Masse de fibres divisée par un réseau de parenchyme ligneux et radial (30 δ, Ph. C. Th.) 155
Chêne rouvre (S. T.). Bois d'automne et de printemps (90 δ, Ph.) 155
Frêne commun (S. R.). Vaisseaux de printemps et d'automne 156
Hêtre commun (S. R.). Vaisseaux grillagés (550 δ) 156
Aune glutineux (S. R.). Vaisseaux grillagés (430 δ, Ph.) 156
Peuplier noir. Vaisseau fermé (300 δ) 157
Hêtre commun. Vaisseau fermé (300 δ) 157
Robinier pseudo-acacia. Paroi spiralée du vaisseau 157
Peuplier noir (S. Tg.). Ponctuations des vaisseaux groupés, paroi séparative (430 δ, Ph.) 158
Aune glutineux (S. Tg.) Ponctuations des vaisseaux groupés, paroi séparative (430 δ) 158
Érable sycomore (tigelle) (S. R.). Vaisseau spiralé (450 δ, Ph.) 159
Schéma des vaisseaux annelé et scalariforme 159
Chêne pédonculé (S. T.). Vaisseau avec thylles (90 δ) 159
Robinier pseudo-acacia (S. T.). Vaisseau avec thylles (30 δ) 159
Formation des thylles 159
Buis commun (S. T.). Vaisseau simple (60 δ, Ph. C. Th.) 160
Rhododendron des Alpes (S. T.). Vaisseau simple (70 δ, Ph.) 160
Chêne-liège (S. T.). Vaisseau simple (30 δ, Ph. C. Th.) 161
Chêne rouvre (S. T.). Vaisseaux simples et groupés (90 δ) 161
Peuplier du Canada (S. T.). Vaisseaux groupés (30 δ, Ph. C. Th.) 162
Aune blanc (S. T.). Vaisseaux simples et groupés (30 δ, Ph. C. Th.) 163
Pommier acerbe (S. T.). Vaisseaux simples (60 δ, Ph. C. Th.) 163
Chêne pédonculé (S. T.) à croissance lente (12 δ, Ph.) 163
— — — rapide (12 δ, Ph.) 163
Saule marceau (S. T.). Vaisseau groupé (600 δ) 164
Orme champêtre (S. T.). Vaisseaux groupés (25 δ, Ph.) 164
Érable champêtre (S. T.). Vaisseaux simples et groupés (30 δ, Ph. C. Th.) 165
Robinier pseudo-acacia (S. T.). Vaisseaux groupés (30 δ, Ph. C. Th.) 165
Noyer commun (S. T.) à croissance rapide (30 δ, Ph. C. Th.) 166
Hêtre — — — — (90 δ, Ph.) 166
— — — — lente (90 δ, Ph.) 166
Saule drapé (S. T.). Disposition de vaisseau (30 δ, Ph. C. Th.) 166
Alisier torminal (S. T.). Disposition de vaisseau (30 δ, Ph. C. Th.) 166
Saule pleureur (S. T.). Disposition de vaisseau (30 δ, Ph. C. Th.) 167
Coudrier noisetier (S. T.). Disposition de vaisseau (30 δ, Ph. C. Th.) 167
Ajonc d'Europe (S. T.). Disposition de vaisseau (30 δ, Ph. C. Th.) 168
Nerprun purgatif (S. T.). Disposition de vaisseau (30 δ, Ph. C. Th.) 168
Murier blanc (S. Tg.). Course longitudinale des vaisseaux (60 δ, Ph. C. Th.) 169
Frêne dimorphe (S. Tg.). Parenchyme court (60 δ, Ph. C. Th.) 170
— commun (S. Tg.). Parenchyme court et long 170
— — — — long 171
Chêne parenchyme long aréolé 171
Cellules cubiques intercalaires 171
Aune glutineux (S. Tg.). Parenchyme long (430 δ, Ph.) 172
Chêne pédonculé (S. R.). Parenchyme aréolé (430 δ, Ph.) 172
Peuplier noir. Rayon médullaire (400 δ) 173
Frêne dimorphe (S. Tg.). Rayons médullaires (60 δ, Ph. C. Th.) 173
Érable sycomore (S. Tg.). Rayons médullaires (60 δ, Ph. C. Th.) 173
Chêne pédonculé (S. Tg.). Rayons médullaires (90 δ, Ph.) 174
Hêtre commun (S. Tg.). Rayons médullaires (90 δ, Ph.) 174
Chêne kermès (S. Tg.). Rayons médullaires (60 δ, Ph. C. Th.) 175
— occidental (S. Tg.). Rayons médullaires (60 δ, Ph. C. Th.) 175
Coudrier noisetier (S. Tg.). Rayons médullaires (60 δ, Ph. C. Th.) 176
Chêne pédonculé (S. T.). Course radiale des rayons (90 δ, Ph.) 177
Hêtre commun (S. T.). Course radiale des rayons (30 δ, Ph. C. Th.) 178
Tamarix d'Afrique (S. T., 30 δ, Ph. C. Th.) 179
Hêtre commun (S. R.). Rayons médullaires (60 δ, Ph.) 179
— (S. R. et S. Tg.). Rayons médullaires (30 δ) 180
Peuplier noir (S. R.) 180
Spirée à feuilles de millepertuis (S. T.). Moelle et rayons avec fente de dessiccation 181
Chêne débité sur mailles 182
— débit ordinaire 182
Schéma des moelles de chêne, peuplier, frêne et aune 183
Ajonc nain. Moelle (S. T., 60 δ, Ph. C. Th.) 183
Viorne obier. Moelle (S. T., 30 δ, Ph. C. Th.) 184

Pages.
Allongement de la tige des résineux (schéma) 184
— des feuillus (schéma) 184
Schéma d'une tige sinueuse redressée 185
Myrica gallé. Moelle fendue (S. Tg., 60 δ, Ph. C. Th.) 186
Matière intercellulaire (S. T.). Fibres, parenchyme, rayons 187
Schéma de l'usure du pavage en bois 188
— de la brisure par compression 189
— — par traction 189
Saule drapé (S. T.). Entre-écorce incolore (30 δ, Ph. C. Th.) 190
Coudrier noisetier (S. T.). Entre-écorce coloré (30 δ, Ph. C. Th.) 190
Aune glutineux (S. R.). Entre-écorce (30 δ, Ph. C. Th.) 190
Canaux laticifères 191
Tissu à fibre torse 192
Tenons pris dans du bois à fibres droites et torses 192
Type de section d'arbre crû à l'état isolé 193
— — — en futaie 193
— — — — jardinée 193
— — — en taillis sous futaie 193
— — à croissance excentrée 193
Charme commun (S. T.). Accroissemeut sinueux (30 δ, Ph. C. Th.) 194
Bille de peuplier d'Italie 195
Déviation du tissu par un embranchement 195
Nœuds recouverts 196
If commun, aubier et bois parfait, grandeur naturelle 197
Vaisseaux remplis par des gommes ou concrétions 198
Fibres et épaississements 200
Marche du liquide injecté dans les bois feuillus 205
— — — résineux 205
Bois de pin teinté par l'acide azotique 206
Matière intercellulaire isolée par l'acide sulfurique 206
Cellules isolées par l'acide azotique et le chlorate de potasse 206
Chêne pédonculé. Différenciation des cellules par le vert de méthyle et l'acide picrique 207
Pin cembro. Différenciation des cellules par le vert de méthyle et l'acide picrique 207
— Différenciation de la cellulose par le chloroiodure de zinc iodé 208
Pin laricio. Différenciation de la cellulose par le chloroiodure de zinc iodé 208
Cellules avec oxalate de chaux 210
Teack. Fibre incrustée de silice 210
Schéma pour le prélèvement des éprouvettes de traction 213
Directions diverses des accroissements dans les éprouvettes 214
Type de la direction des couches annuelles dans une éprouvette d'essai prise dans un embranchement. 214
Schéma de l'emplacement des éprouvettes 215

MALADIES DES BOIS DE CONSTRUCTION.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. LE COMMANDANT PRALON [1].

Les tares ou défauts dont peuvent être affectés les bois proviennent de lésions qui se divisent en deux grandes catégories :

1° Lésions dues à des accidents ;

2° Lésions occasionnées par des organismes vivant au détriment des éléments constitutifs des ligneux.

1° LÉSIONS DUES AUX ACCIDENTS.

Celles-ci sont de deux sortes : les unes produites par les variations atmosphériques, les autres par l'homme et les animaux. Les dernières prennent le nom de *traumatismes*.

Les unes et les autres sont engendrées exclusivement sur les arbres vivants.

I. — Lésions dues aux variations atmosphériques. — Le froid produit les tares suivantes :

1° La *gélivure*, éclatement longitudinal de la paroi extérieure, brusquement refroidie pendant que l'intérieur de l'arbre se trouve encore à une température plus élevée. La fente se propage de la périphérie vers l'intérieur et finit souvent par atteindre le cœur.

2° La *gelée*, éclatement intérieur des tissus, sous l'influence de glaçons produits dans les vaisseaux par un froid progressif et continu.

3° Le *double aubier*, ou gélivure entrelardée ; c'est une gélivure qui s'est refermée, et par-dessus laquelle les couches annuelles ont repris leur développement normal, emprisonnant ainsi la région attaquée.

[1] Les renseignements donnés dans la présente note sont tirés de conférences faites à Rennes par M. Crié, professeur à la Faculté des sciences de cette ville, de l'ouvrage de M. Prillieux, *Maladies des plantes agricoles et des arbres*, et de celui de M. Loubié, *Les essences forestières*.

4° La *roulure de gelée;* elle est due aux mêmes causes que la gélivure, mais la rupture du tissu, au lieu de se manifester suivant un rayon, se produit entre deux couches annuelles.

5° Le *chancre de gelée;* lorsqu'une branche a péri par la gelée, il se produit, à son point d'intersection avec l'arbre, une décomposition de l'écorce qui se propage dans le corps ligneux du tronc.

La chaleur donne naissance aux *brûlures d'écorce* et aux *fentes d'insolation.*

Les premières sont fréquentes sur les arbres à écorce lisse (pin, sapin, épicea, hêtre, charme). L'écorce se dessèche, s'exfolie et le bois mis à nu peut se décomposer.

Les fentes d'insolation se produisent au printemps; l'écorce se gerce et se soulève sur les bords de la gerçure; au bout de quelques années ces fentes peuvent se refermer.

II. — Traumatismes. — Ces blessures sont la conséquence de la taille, de l'élagage, des chocs divers que peuvent recevoir les arbres, des morsures des rongeurs ou des ruminants, etc.

Parmi celles-ci, on range:

La *galle pierreuse*, due à une infiltration de carbonate de chaux dans des parties entrées en décomposition par suite de blessure;

La *veine grasse*, trace noire d'apparence huileuse qui s'étend suivant les fibres du bois; elle serait due à l'infiltration dans le bois de la gomme vulnéraire que secrètent les arbres blessés en vue de cicatriser leur plaie;

La *frotture*, qui est une partie spongieuse restée dans l'intérieur du bois sain, à la suite de la mort d'une portion d'aubier occasionnée par une contusion locale.

Toutes ces tares sont ordinairement peu dangereuses par elles-mêmes, au point de vue de la conservation des bois. Il suffira généralement d'en purger les pièces pour s'en débarrasser. Mais elles présentent un inconvénient autrement plus grave, c'est celui de servir de porte d'entrée aux parasites dont il va être question.

2° LÉSIONS PARASITAIRES.

Les lésions occasionnées par des organismes vivant au détriment des éléments du bois sont dues soit à des parasites animaux, soit à des parasites végétaux.

Ces invasions parasitaires se manifestent aussi bien sur les bois abattus que sur les bois vivants, et les maladies qu'elles occasionnent à un arbre sur pied continuent généralement à se propager après l'abatage.

I. — Lésions dues aux parasites animaux. — Les parasites animaux sont soit de petits insectes, soit des vers ou des larves, soit de petits mollusques qui pénètrent dans le bois, les uns pour s'y nourrir, les autres pour y déposer leurs œufs.

Les principaux de ces parasites sont les suivants: les *pucerons*, les *kermès*, les *scolytes*, insectes qui ravagent les arbres sur pied. Le *termite*, fourmi ailée, est un des animaux les plus redoutables pour les approvisionnements de bois.

Parmi les vers, il faut citer:

La *vrillette*, qui a environ 7 millimètres de longueur; sa couleur est d'un brun sombre taché de jaune; elle attaque de préférence les bois tendres et l'aubier des bois durs.

Le *lymexillon*, qui fait des trous perpendiculaires aux fibres, se propage très rapidement et donne au bois une odeur nauséabonde particulière.

Le *taret*, petit mollusque qui n'attaque que le bois plongé dans l'eau de mer.

C'est généralement par l'écorce, riche en matières azotées, que commence le ravage des insectes, l'aubier est ensuite attaqué. Il faut donc avoir soin d'enlever l'écorce à temps. Un étuvage

à une température voisine de 100° doit détruire ces parasites. L'immersion dans l'eau douce a aussi pour résultat de faire périr certains insectes, par exemple les lymexillons et les tarets. Mais d'un autre côté, le séjour prolongé de certains bois dans l'eau occasionne des maladies bactério-mycotiques.

II. — Lésions dues aux parasites végétaux. — Elles sont de deux sortes ; selon que les parasites sont des *bactéries* ou des *mycètes*, elles prennent le nom de maladies *bactério-mycotiques* ou de *maladies mycotiques*.

Les *bactéries* (microbes) sont des êtres qui forment la limite entre le règne animal et le règne végétal. Elles engendrent des fermentations acétique, lactique, butyrique, etc., ou des fermentations putrides. Leur extrême ténuité et la grande difficulté de les distinguer dans les tissus ligneux ont fait parfois méconnaître l'origine de certaines maladies. Elles se multiplient par division de leurs cellules ; mais en outre elles forment des corps reproducteurs, spores de moins d'un millième de millimètre de diamètre, qui résistent à la dessiccation et supportent des températures bien plus élevées que celle qui fait périr les bactéries dont elles proviennent.

Les maladies d'origine *bactério-mycotique* sont les suivantes :

Les *tumeurs bactériennes* (pin, olivier), qui sont des excroissances ligneuses habitées par des bacilles. Elles amènent le dépérissement de l'arbre.

Les *écoulements muqueux* (pourriture humide). L'écoulement blanc engendre une fermentation alcoolique qui devient ensuite acétique (chêne, bouleau, peuplier). Il ne nuit pas aux arbres d'une façon bien importante. L'écoulement brun, qui est plus grave que le précédent et répand une odeur butyrique (orme, peuplier, bouleau, chêne). Dans certains pays, les chênes atteints de cette maladie sont appelés chênes *ferrés*.

Le rouissage prolongé (bambou) a pour conséquence de produire une fermentation butyrique sous l'influence d'une bactérie qui décompose la cellulose.

Les *maladies mycotiques* sont de beaucoup les plus graves et les plus importantes à reconnaître ; ce sont elles qui engendrent les tares connues sous les noms suivants :

Roulure mycotique [1], lunure mycotique, cadranure mycotique ; carie sèche, pourriture sèche, noire, jaune, blanche, rouge ; grisette à chair de poule, à flamme blanche, jaune, brune ; tabac d'Espagne ; jaunisse ; œils de perdrix ; huppes ; bois passés, échauffés. Quelques-unes de ces tares se rapportent souvent à divers états successifs de développement d'une même lésion mycotique.

Les *mycètes*, ou champignons, sont des végétaux qui envoient des ramifications (*hyphes*, ou *mycèles*) dans l'intérieur du bois pour y puiser leur nourriture. Quelquefois leur présence se trahit à l'extérieur par l'existence de chapeaux (*strômes* ou *réceptacles*) adhérents aux parois du sujet attaqué. Mais le plus souvent, ces signes extérieurs font défaut, soit que les intéressés les aient fait disparaître, soit que l'attaque mycotique ne se trouve pas encore très avancée.

D'ailleurs, les débuts d'une maladie mycotique sont assez difficiles à reconnaître, il faudrait avoir recours à l'examen microscopique, qui n'est d'ailleurs un moyen ni sûr, ni à la portée de tout le monde. Mais à mesure que la maladie se développe et avant d'en arriver à la pourriture, elle se trahit par des symptômes organoleptiques faciles à reconnaître : coloration et odeur. En examinant des sections du sujet, on remarque qu'il a perdu par endroits sa couleur propre ; il présente des points ou des lignes blanches, des îlots, des stries, des rayures plus ou moins étendues, et même des teintes continues ; on rencontre des colorations mycotiques jaunes, rouges, bleues, vertes, blanches et noires (*mycoses*).

Une odeur d'anis, de fenouil, d'amandes amères, la disparition de l'odeur de tanin révèlent des lésions mycotiques.

[1] Elle se distingue de la roulure de gelée par la présence de lignes blanchâtres dues à la présence des mycètes.

Les germes, ou spores des champignons pénètrent généralement dans les bois sur pied par les lésions dues aux accidents. Il convient donc de s'assurer avec le plus grand soin, lorsque l'on purge une tare de cette catégorie, que les régions voisines ne présentent pas d'indices révélateurs de maladies mycotiques.

Les bois abattus peuvent être attaqués par contagion, soit par le contact immédiat, soit même par suite d'un voisinage plus ou moins proche de pièces mycélées. Il est donc de la plus grande importance de se débarrasser des pièces atteintes.

D'autre part, les principes de la sève étant, pour la plupart des champignons, leur nourriture préférée, ceux-ci se répandront bien plus rapidement et bien plus facilement dans les bois abattus en été.

Les champignons les plus redoutables pour les bois abattus[1], mis en œuvre ou conservés en magasin, sont le *merullius lacrymans* et le *polyporus vaporarius*. Le premier exerce ses ravages sur toutes les essences usuelles, le second, dont le mode d'action ressemble beaucoup à celui du merullius, se spécialise sur les résineux. Les accidents causés depuis quelques années par ces deux champignons sont nombreux : affaissements de planchers, effondrements de charpentes, éboulements de galeries de mines par suite de la ruine des coffrages, etc.

Le *merullius lacrymans* est appelé communément *champignon des maisons*, ou encore *champignon des charpentes*. Le bois attaqué par lui prend une couleur d'un brun jaunâtre; puis il se produit des fentes très multipliées à angle droit et la pièce se délite en petits cubes, avec production d'une poussière brune très fine. A la surface, on voit apparaître un réseau de filaments blancs, soyeux, formant une sorte de membrane peu adhérente d'où partent, par places, des cordons grisâtres qui s'en vont, en s'appuyant sur les maçonneries, porter l'infection dans les bois voisins, ceux de l'étage supérieur, par exemple. Ces filaments, ces cordons mycéliens se recouvrent de gouttelettes d'eau secrétées par le champignon. L'humidité est d'ailleurs très favorable à la pullulation du merullius; il en est de même du carbonate de potasse et des matières azotées qui dégagent de l'ammoniaque. C'est encore le merullius qui produit la *rayure rouge* dans les bois flottés. Les chapeaux ou réceptacles de ce mycète se produisent sur les membranes feutrées qui tapissent la surface des pièces atteintes. Ils se présentent sous forme de plaques irrégulières d'abord entièrement blanches, puis brunissant vers le milieu; elles se couvrent de plis sinueux qui, un peu plus tard, se réunissent de façon à former un réseau à mailles inégales de 1 à 2 millimètres de diamètre. Ces réceptacles donnent naissance à des spores ou germes, de couleur jaune-orangé qui se déposent sous forme de poussière sur les objets environnants. Tombant sur des bois, ces spores germent et engendrent de nouveaux champignons. Dans les locaux non habités et maintenus fermés, on observe souvent, en les ouvrant, ces dépôts de poussière ocreuse sur les planchers et les lambris. C'est là un indice de la présence du champignon des maisons.

Jusqu'à présent, l'aération et la production de courants d'air sec dans les endroits où se trouvent des bois sont les seuls remèdes vraiment efficaces pour arrêter les dégats de ce mycète.

Le *polyporus vaporarius* trahit sa présence en colorant les résineux en brun clair d'abord, puis en brun foncé; le bois se crevasse horizontalement et verticalement; en se desséchant, il devient très léger et, sauf sa couleur rouge-brun, il ressemble assez à du charbon de bois; finalement, le bois perd toute consistance et peut être réduit entre les doigts en poussière brune. Le *polyporus vaporarius* produit assez rarement des chapeaux. Quand ces réceptacles existent, ils se présentent sous forme de croûtes d'un blanc jaunâtre qui atteignent rarement une épaisseur de 5 millimètres et adhèrent très fortement au bois.

Il existe un très grand nombre d'autres mycètes qui s'attaquent principalement aux arbres sur pied, mais dont les ravages, bien moins graves que ceux des deux champignons dont il vient d'être question, continuent fréquemment après l'abatage. Ceux qui se rencontrent sur les essences employées dans les constructions sont surtout des genres *polyporus*, *stereum* et *trametes*.

C'est ainsi que le *polyporus fomentarius* (amadouvier) produit sur le chêne et le hêtre la pourriture blanche, avec lignes noires. Ses chapeaux sont souvent très volumineux; ils affectent la forme d'un sabot de cheval.

---

[1] On donne le nom de *saprophytes* aux champignons qui se développent sur les bois après abatage; ceux qui attaquent les arbres sur pied sont dits *parasites*.

Le *polyporus ignarius* (faux amadouvier) cause la pourriture blanche du chêne, du hêtre, du charme et du peuplier. Il se manifeste d'abord par une coloration brune. Ses chapeaux sont très durs, d'un brun de rouille à l'intérieur; leur surface supérieure est veloutée, brune d'abord, puis grisâtre; leur surface inférieure et leur bord sont couleur cannelle.

Le *polyporus sulfureus* engendre la pourriture rouge du noyer, du chêne, du châtaignier, du peuplier et des résineux; ses chapeaux sont jaune soufre et plus tard orangé.

Le *polyporus hispidus* s'attaque au cœur du bois qui se transforme en une masse très tendre, légèrement spongieuse, d'un blanc jaunâtre un peu rosé, qu'entoure une zone plus dure de couleur brun foncé. Dans la partie centrale, on voit aussi des lignes sinueuses de cette même couleur brun foncé. Ses chapeaux sont très tendres, d'un brun jaunâtre et ont la forme de coussins épais; leur face inférieure est jaune clair (noyer, orme).

Les stereum, bien qu'attaquant aussi les arbres vivants, sont plutôt à craindre comme saprophytes.

Le *stereum hirsutum* (chêne, châtaignier, hêtre) se manifeste extérieurement par des chapeaux affectant la forme de lamelles frisées, d'un blanc grisâtre en dessus et jaunâtres en dessous. A l'intérieur, il produit d'abord une coloration brune avec des points blancs en coupe transversale, des lignes et des bandes blanches en section longitudinale; puis vient la pourriture, blanche dans le châtaignier, rouge brun dans le chêne.

Le *stereum frustulosum*, appelé aussi *telephora perdix*, se développe surtout sur le chêne. Le bois envahi prend un aspect brun foncé marqué de taches blanches, qui présente une ressemblance éloignée avec le plumage de la perdrix. Ces taches deviennent peu à peu autant de cavités dont les bords sont tapissés de revêtement blanc. L'attaque par ce parasite est si particulière qu'elle ne peut être confondue avec aucune autre altération similaire. Ses réceptacles sont constitués par de petites croûtes dures, grisâtres, ordinairement serrées les unes contre les autres et séparées par de petites crevasses.

Parmi les trametes, il suffit de citer :

Le *trametes suaveolens*, qui se développe dans le cœur du peuplier et donne naissance à une odeur anisée.

Le *trametes pini*, parasite du pin, qui produit des roulures mycotiques, puis une pourriture rouge.

ENTRETIEN ET CONSERVATION DES BOIS.

I. — Bois mis en œuvre dans les bâtiments. — Quand un plancher fléchit, quand une couverture se cintre, quand un parquet ou un lambris se gondole, il y a de grandes chances pour que les bois soient atteints par des lésions mycotiques.

Dans le cas d'un plancher, par exemple, il faut enlever quelques lames en différents points et surtout dans le voisinage des murailles; voir si les solives ou les dessous des lames sont attaqués par les champignons. Si l'on est assez heureux pour découvrir la lésion à ses débuts, on se contentera de faire disparaître les parties attaquées et de badigeonner leurs emplacements ainsi que les pièces de bois voisines avec une solution de naphtolate de soude au 1/100.

Si les ravages sont déjà considérables et que les surfaces se trouvent recouvertes, soit de cordons mycéliens blancs ou jaunâtres, soit de tissus feutrés ou de chapeaux, enlever tous les bois contaminés et ceux qui leur sont contigus. Asperger à deux ou trois reprises le sol et les murs adjacents avec de l'eau renfermant 2 p. 0/0 d'acide sulfurique. Les bois restant dans le local seront badigeonnés avec une solution de 20 grammes de bichlorure de mercure par litre d'alcool.

Les bois contaminés seront incinérés sur place ou, du moins, il conviendra d'éviter de les transporter inutilement.

Les bois de remplacement seront enduits de créosote; en outre, on projettera sur eux, au moyen d'un pulvérisateur, une solution de lysol à 2 p. 0/0.

La pratique qui consiste à goudronner les portions de solives encastrées dans la maçonnerie est inefficace, parce que l'action protectrice du goudron est purement superficielle. Il est préférable de les créosoter.

Dans les constructions neuves, si l'on ne peut éviter de faire des planchers au rez-de-chaussée quand il n'y a pas de locaux en sous-sol, on prendra des mesures pour aérer et mettre au sec le solivage inférieur.

Ne pas mettre entre les solives de remplissage capable de favoriser l'apparition des champignons; utiliser pour cet objet exclusivement du sable ou du gravier parfaitement secs.

II. — Bois conservés en magasin. — Les bois sont conservés sous des hangars ou dans des magasins secs et largement aérés. Le sol est, de préférence, recouvert d'une aire en ciment. Les bois, même en grume, ne reposent jamais directement sur l'aire; il faut éviter avec le plus grand soin d'utiliser des vieux bois comme supports. Ceux-ci ne tarderaient pas à contaminer les pièces qu'ils sont appelés à isoler. On peut employer avantageusement pour cet usage de vieux rails.

Dans une pile, les pièces de bois ne sont jamais placées jointives ; il faut que l'air puisse circuler librement autour de chacune d'elles. Les piles sont remaniées fréquemment. Changer les parties en contact.

Éliminer et incinérer les billes qui exhalent une odeur anisée, butyrique ou acétique, celles qui présentent des végétations mycéliennes, en un mot, tous les bois pourris ou simplement contaminés.

Pour le noyer, en particulier, faire disparaître les pièces qui présentent des plaques mycotiques jaunes ou des cordons noirs mycéliens.

Projeter, au pulvérisateur, du lysol à 2 p. 0/0 sur les faces du bois qui se trouvaient en contact avec les pièces contaminées. Si le mal est localisé et peu avancé, enlever les parties malades et badigeonner les portions restantes à plusieurs reprises avec la solution de naphtolate de soude au 1/100.

Paris, le 10 décembre 1898,

A. PRALON.

ESSAIS D'ARTICLES DE CORDERIE.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. E. POLONCEAU.

Les fils, ficelles, cordes et cordages, et, d'une manière générale, tous les articles de corderie, sont soumis à des conditions de fabrication et à des essais qui sont indiqués ci-dessous et que nous avons extrait des cahiers des charges des principales compagnies.

CONDITIONS DE FABRICATION.

Les cordages seront fabriqués exclusivement en chanvre pur de première qualité à longues fibres. Les chanvres qui sont préférés sont ceux de France, de Piémont ou de Bologne; les chanvres de Russie, de Naples, etc., sont ordinairement proscrits; cependant, les chanvres de Russie peuvent être employés pour la confection des cordages et ficelles goudronnés, mais on doit choisir le chanvre dit *de Pologne* ou *net marine* et non les chanvres de qualité inférieure tels que ceux d'Outschoff et Pass.

Les chanvres seront d'abord soumis à un rouissage complet à l'eau dans les meilleures conditions. Ils devront présenter une couleur brillante, claire et uniforme.

Tout chanvre de couleur foncée ou présentant des taches foncées sera exclu de la fabrication.

Les chanvres peuvent être employés indifféremment tillés ou broyés, mais à l'exclusion du mélange des deux espèces dans la fabrication d'un même cordage.

Les chanvres doivent être parfaitement épurés, purgés de chènevotes, d'étoupe, exempts de pattes et de corps étrangers, ils ne présenteront pas de rubans, le peignage se fera à bras et *en premier brin*, bien à fond, de manière à diviser tous les filaments jusqu'au cœur de la poignée, en aucun cas on ne devra reprendre les brins restés sur le peigne. Le peignage sera exécuté avec le même soin, quel que soit le mode de filage employé.

FIL DE CARET.

La transformation du chanvre en fil de caret pourra être obtenue soit à la main, soit au métier, mais, quel que soit le mode de filage employé, le fil de caret ne devra rien laisser à désirer

sous le rapport de la régularité, de la netteté et de l'apparence générale; il sera bien calibré et son diamètre, variable pour les ficelles et les cordes suivant leur grosseur, devra être d'environ 3 millimètres pour les cordages; la torsion sera la même dans toute la longueur, et il devra y avoir environ 50 à 60 hélices par mètre courant pour les fils à la main et 55 à 60 pour les fils mécaniques.

Tout fil hérissé, spongieux ou contenant encore des chènevottes sera exclu de la fabrication.

Le poids du fil est ordinairement de 4 kilogrammes les 1,000 mètres pour la fabrication des cordages de 25 millimètres de diamètre et au-dessous, et de 5 kilogrammes les 1,000 mètres pour les diamètres supérieurs.

GOUDRONNAGE.

Lorsque le goudronnage des cordes et des cordages sera demandé, il devra toujours être effectué sur le fil de caret par immersion dans un bain de goudron végétal chauffé à la vapeur entre 70 et 80 degrés centigrades. La quantité de goudron contenue dans le fil de caret ne devra jamais dépasser 14 p. o/o du poids du fil blanc.

De même que les fils, les cordages goudronnés ne devront pas contenir plus de 14 p. o/o de goudron.

Les ficelles, cordes et cordages comprennent :

1° Les *fils divers* blancs ou goudronnés composés d'un brin tordu ou d'un certain nombre de brins commis ensemble par simple torsion, soit à droite, soit à gauche.

2° Les *cordes simples* comprenant les ficelles, menues cordes et cordes molles sont composées d'un certain nombre de fils de caret commis ensemble par une simple torsion; elles doivent être parées et lissées.

3° Les *cordes câblées* sont composées de fils de caret commis ensemble par câblage, c'est-à-dire par torsion générale de l'ensemble et torsion partielle de chaque fil, en sens inverse de la torsion générale.

Dans cette catégorie rentrent les septains divers.

4° Les *cordages* sont composés de cordes simples ou torons, commis ensemble par torsion générale de l'ensemble et torsion particulière de chaque toron en sens inverse de la torsion générale; les cordages sont, suivant le cas, constitués par 3 ou 4 torons de grosseur convenable.

Le pas des spires doit être à peu près égal à trois fois le diamètre du cordage, il est déterminé d'ailleurs par la valeur du commettage.

Dans la catégorie des cordages rentrent les prolonges, en observant toutefois :

a. Que la torsion des prolonges est faite en sens inverse de celle des cordages;

b. Que le degré de torsion des prolonges est inférieur à celui des cordages.

5° *Grelins.* — Les grelins sont composés de cordes commises ensemble par câblage, c'est-à-dire par torsion générale de l'ensemble et torsion partielle de chaque corde en sens inverse de la torsion générale.

SENS DE LA TORSION.

Pour les cordages courants, la torsion du fil est à droite, celle du toron à gauche, le câblage est à droite. Le sens de la torsion finale doit toujours être indiqué, il est représenté par la figure 6, pour la torsion à gauche, et par la figure 7 pour la torsion à droite.

Fig. 6. — Torsion à gauche.

Fig. 7. — Torsion à droite.

TORONNAGE.

Les fils composant les torons doivent être tous de même qualité et de même aspect. Les torons seront tirés *au tube;* le toronnage par ourdissage n'est pas admis.

COMMETTAGE.

La réunion par torsion des divers torons entre eux pour former le cordage, désignée sous le nom de commettage ou câblage, sera fait avec le plus grand soin et par les meilleurs procédés en usage, de manière à assurer le degré de torsion fixé, la régularité du pas des hélices, la bonne liaison des éléments entre eux, la régularité du diamètre et du poids, le sens de la torsion et les exigences spéciales du cordage demandé.

Le degré de commettage détermine pour les diverses natures de cordages, le pas, le degré de torsion, le serrage plus ou moins accentué de l'ensemble.

La valeur du commettage, exprimée d'une façon générale à un *tant pour cent*, donne la réduction de longueur des fils primitifs par rapport à la longueur effective du cordage produit, réduction comprenant les pertes de longueur partielles dues aux diverses opérations du toronnage, torsion des torons, câblage et faux tors.

Ainsi, un commettage à 140 p. o/o indique que les fils destinés à donner 100 mètres de cordage doivent avoir une longueur primitive de 140 mètres.

Les valeurs des commettages varient suivant la nature des cordages et sont généralement de 120 p. o/o pour les cordes molles, 125 p. o/o pour les prolonges, 135 à 140 p. o/o pour la plupart des cordages, 145 p. o/o pour les septains.

POIDS NORMAL.

Le poids normal d'un cordage est déterminé par la formule .

$$P = K\, d^2\, l,$$

dans laquelle :

P représente le poids normal du cordage exprimé en kilogrammes,

d, son diamètre exprimé en mètres,

l, sa longueur exprimée en mètres,

K, un coefficient numérique variable avec la nature du cordage et dont les valeurs ordinairement admises sont indiquées dans le tableau suivant :

NATURE DES CORDAGES.		VALEUR DE K POUR LES CORDAGES	
		BLANCS.	GOUDRONNÉS.
Cordes simples		800	900
Cordes câblées		850	950
Cordages	diamètre au-dessous de 70 m/m	750	850
	diamètre 70 m/m et au-dessus	780	880
Grelins		750	
Prolonges		600	685

Le diamètre doit être mesuré, à l'exclusion de tout autre procédé, par l'écartement de deux lames parallèles, équerres ou cornières, enserrant le cordage sans pression sensible sur une longueur de 200 millimètres.

Les poids obtenus au moyen de la formule ci-dessus s'accordent d'une manière très exacte avec les résultats de pesées effectuées pendant une dizaine d'années à la Compagnie P.-L.-M. sur les divers cordages qu'elle emploie.

La formule adoptée par la Marine nationale donne sensiblement les mêmes résultats.

Cette formule est :

$$P = b\,c^2,$$

dans laquelle :

P est le poids en kilogrammes d'un cordage de 200 mètres,

c, la circonférence de la section du cordage en centimètres,

b, un coefficient numérique variable avec la nature des cordages et dont les valeurs, suivant les cas, sont indiquées par le tableau suivant :

NATURE DES CORDAGES.	VALEUR DE b POUR LES CORDAGES EN FIL	
	BLANC.	GOUDRONNÉ.
Cordages à 3 torons	1,49	1,70
Cordages à 4 torons	1,54	1,75
Grelins à 3 cordons	1,48	1,68
Grelins à 4 cordons	1,53	1,73

La Compagnie des chemins de fer de l'Est emploie, pour déterminer le poids théorique normal des cordages, une formule semblable :

$$P = a\,d^2,$$

dans laquelle :

P est le poids du cordage en kilogrammes par mètre courant,

d, le diamètre en millimètres,

a, un coefficient variable suivant le degré de commettage et fixé ainsi qu'il suit :

Commettage à 120 p. 100	$a =$	0,00045.
— 125 —		0,00060.
— 135 —		0,00078.
— 140 —		0,00080.
— 145 —		0,00085.

Quelle que soit la formule adoptée pour le calcul du poids théorique normal, on admet, pour le poids réel constaté au moyen de pesées, un écart maximum de 5 p. 100 en plus ou en moins.

Pour les cordages de longueur fixe, la tolérance est de 1 p. 100 en plus ou en moins sur la longueur; cependant, certaines compagnies n'admettent pas la tolérance en moins.

ESSAIS DES CORDAGES À LA TRACTION.

Les résistances des cordages se vérifient au moyen d'épreuves par traction; ces épreuves peuvent être faites sur un brin isolé ou sur deux brins réunis, comme par exemple dans les élingues.

Dans tous les cas, pour diminuer la fatigue au point d'amarrage, l'amarrage sera établi sur une poulie dont le diamètre aura de 5 à 10 fois le diamètre du cordage et ce dernier fera au moins un demi-tour sur la poulie entre son amarrage et la partie libre soumise à la traction.

La résistance des cordages étant, pour une même qualité de matière, fonction du poids par mètre courant, les efforts de traction auxquels doivent être soumis les cordages disposés comme il est indiqué ci-dessus pourront s'exprimer par la formule :

$$F = b\,P,$$

dans laquelle :

F représente l'effort de traction exprimé en kilogrammes,

P le poids réel, par mètre courant, du cordage exprimé en kilogrammes, et

b, un coefficient numérique variable avec la nature du cordage et dont les valeurs ordinairement admises sont indiquées, pour chaque cas, dans le tableau suivant :

NATURE DES CORDAGES.	VALEUR DE *b* POUR LES CORDAGES	
	BLANCS.	GOUDRONNÉS.
Cordes simples	4,000	1,800
Cordes câblées	2,000	1,600
Cordages à 3 torons	1,600	1,300
Cordages à 4 torons	1,400	1,200

Les efforts de traction, déterminés comme il vient d'être dit, seront maintenus pendant 5 minutes.

Pendant et après cette épreuve, les cordages ne devront présenter aucune trace quelconque de détérioration.

Les épissures, boucles, œillets ou autres dispositions spéciales des cordages doivent résister aux mêmes épreuves que les cordages eux-mêmes.

ÉPREUVES DE RUPTURE.

Outre les épreuves ci-dessus, les cordages sont, le plus ordinairement, soumis à des efforts de traction croissant jusqu'à la rupture.

Les bouts de cordages essayés ont ordinairement une longueur de 4 mètres. Pour les élingues, les bouts à essayer sont détachés des cordages avant l'épissure

Les efforts de traction doivent croître d'une manière continue, aussi uniforme et aussi rapide que possible, jusqu'à ce que la rupture se produise; la charge de rupture ne doit pas être inférieure à celle qui est déterminée par la formule :

$$R \quad Pf,$$

dans laquelle :

R représente la charge de rupture exprimée en kilogrammes,

P, le poids réel du mètre courant du cordage, exprimé en kilogrammes,

f, un coefficient numérique variable avec la nature du cordage.

On n'est pas encore très bien fixé sur la valeur de ce coefficient qui diffère assez notablement d'une Compagnie à l'autre.

Le tableau suivant indique les valeurs limites :

NATURE DES CORDAGES.	VALEURS DE *f* POUR LES CORDAGES	
	BLANCS.	GOUDRONNÉS.
Ficelles	18,000 à 25,000	10,000 à 13,000
Cordes simples	14,000 à 15,000	7,000 à 12,000
Cordes câblées	8,000 à 12,000	6,500 à 7,600
Cordages à 3 ou 4 torons	5,500 à 11,000	5,000 à 6,300
Grelins	6,400 à 7,500	5,500

La Marine nationale emploie pour déterminer l'effort de traction que doivent supporter les cordages la formule :

$$f = \varepsilon\, c^2,$$

dans laquelle :

f représente l'effort de traction en kilogrammes que peut supporter le cordage,

c la circonférence du cordage en centimètres [1],

ε un coefficient numérique variable avec la nature du cordage et dont les valeurs sont indiquées, pour chaque cas, dans le tableau suivant :

NATURE DES CORDAGES.	VALEURS DE ε POUR LES CORDAGES EN FIL	
	BLANCS.	GOUDRONNÉS.
Cordages à 3 et à 4 torons	60	50
Grelins à 3 et à cordons	49	45

Si l'on ramène cette formule à la forme précédente :

$$R = Pf.$$

le coefficient f prendra la valeur 8053 qui est un peu supérieure à la moyenne des valeurs indiquées précédemment; cela est, en somme, assez naturel, car on ne peut exiger des corderies du commerce des produits aussi résistants que ceux qui proviennent des corderies de l'État.

De la formule :

$$R = Pf,$$

on peut tirer un résultat intéressant, si l'on remarque que :

$$P = Sd$$

S étant la section et d la densité du fil, on en conclut que :

$$\frac{R}{P} = \frac{R}{S} \times \frac{1}{d}.$$

Or, d étant très voisin de l'unité, $\frac{R}{P}$ est sensiblement égal à $\frac{R}{S}$, ce qui veut dire que la résistance par millimètre carré de la section est à très peu près la même que la charge de rupture par gramme au mètre courant, soit 8 kilogr. 053 en adoptant les valeurs de la Marine.

MACHINES USITÉES POUR LES ESSAIS ET MODE D'ATTACHE DES CORDAGES.

La plupart des machines à essayer les métaux à la traction peuvent être disposées pour les essais de cordages.

Pour les petites cordes et les ficelles on a ordinairement recours à des appareils plus petits, tels que le dynanomètre Perreaux ou le dynanomètre Chévefy, représentés dans la *Note sur les essais de draps, toiles et tissus divers.*

Quel que soit l'appareil employé, les cordages doivent, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, être amarrés sur des poulies d'un assez grand diamètre, dix à vingt fois au moins celui du cordage.

Si l'épreuve doit avoir lieu sur double brin, les cordages sont passés sur l'une des poulies, puis les deux brins viennent s'enrouler sur l'autre poulie, y font chacun un tour complet et les deux bouts sont noués ensemble (fig. 8).

Pour les cordages qui, comme les élingues, ont leurs deux bouts réunis par une épissure et

[1] Une très petite erreur dans la circonférence du cordage, mesure délicate à prendre, a une grande influence sur la valeur de f.

forment une corde sans fin, il est inutile de faire un tour complet sur la deuxième poulie; il suffit de passer simplement le cordage sur la deuxième poulie comme il a été passé sur la première.

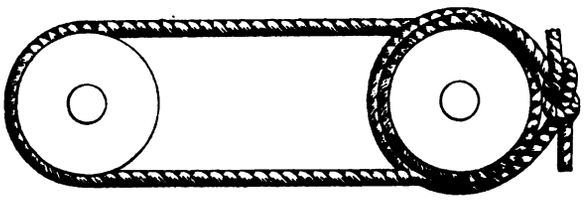


Fig. 8.

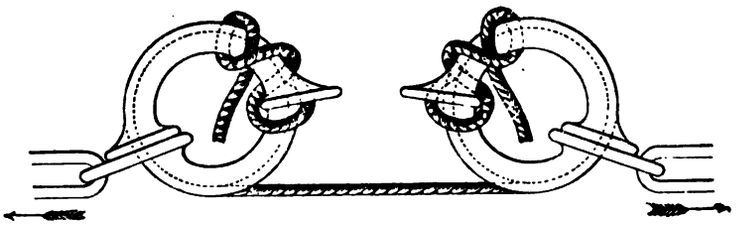


Fig. 9.

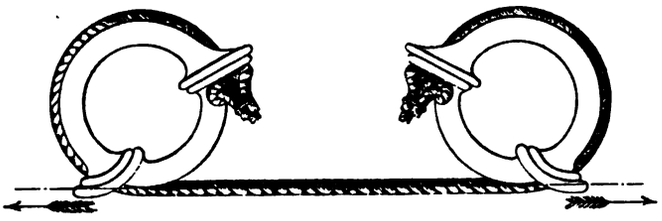


Fig. 10.

Lorsque l'épreuve doit avoir lieu sur brin simple, on emploie des poulies spéciales, ou cosses, dont la gorge est munie de buttoirs, contre lesquels on arrête le cordage au moyen d'un amarrage convenable (fig. 9 et 10).

Par suite de l'enroulement du cordage sur la gorge de la cosse, l'effort à l'attache est assez diminué pour que la rupture se produise plutôt entre les deux cosses qu'aux extrémités.

L'effort de traction est exercé sur la poulie par l'intermédiaire d'un anneau qui porte contre le deuxième battoir; les buttoirs sont, d'ailleurs, disposés de telle façon que la traction a lieu dans l'axe du cordage.

NOMBRE DES ÉCHANTILLONS À PRÉLEVER.

Sur chaque lot de cordages semblables, d'une longueur de 200 mètres ou au dessous, on prélève ordinairement, pour être soumis aux essais, un échantillon d'une longueur de 4 mètres environ.

Il est même bon, ainsi que cela se pratique pour les objets en caoutchouc, de prélever un double échantillon dont l'un reçoit une fiche scellée portant : la signature du fabricant, la date de la fourniture, etc., et que l'on dépose dans un local clos et couvert à l'abri de l'humidité et des rayons directs du soleil; à l'expiration du délai de garantie qui est ordinairement de douze mois, ce deuxième échantillon est soumis aux mêmes essais que le premier.

Si la charge de rupture de l'échantillon conservé est inférieure à plus de 5 p. 100 de celle du premier échantillon, il peut être fait une retenue sur la somme à payer.

ESSAIS CHIMIQUES.

Les essais chimiques permettent de s'assurer que les cordes et cordages ne contiennent pas d'autres matières textiles que le chanvre et que la proportion de goudron indiquée n'est pas dépassée pour les cordages goudronnés.

La présence du lin et du phormium en particulier peut être reconnue par les moyens suivants :

1° On effile les fils, et, après les avoir réduits à l'état de filasse, on les traite par une solution de chlore et on lave à l'eau distillée à plusieurs reprises.

Sur les fils ainsi préparés et encore humides, on laisse tomber quelques gouttes d'ammoniaque. Sous l'influence du réactif le chanvre prend une teinte rose prononcée, mais cette teinte n'est pas stable et disparaît rapidement. Quant au lin, il ne prend aucune coloration.

Les falsifications au moyen du phormium sont accusées par une coloration rouge sang très caractéristique.

2° Après avoir effilé les fils comme il est dit ci-dessus, on les traite par l'acide azotique.

Dans cet acide, le chanvre et le lin prennent une teinte jaune, tandis que le phormium se colore en rouge.

Paris, le 22 septembre 1898.

E. POLONCEAU.

ESSAIS DE CUIRS.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. E. POLONCEAU.

Tous les cuirs pour courroies et objets divers en cuir en usage dans les Compagnies de chemins de fer devront être de première qualité et ne provenir que de peaux de bœufs ou de vaches, selon la désignation portée sur les commandes, à l'exclusion de tous autres animaux.

Ils seront fermes, souples, d'épaisseur égale dans toute leur étendue, sans aucune marque de feu, exempts de coutelures [1], coups de couteau, trous de taon, callosités, poches, replis ou autres défauts pouvant nuire à leur solidité ou à leur aspect ; à moins de prescriptions contraires ils devront être livrés avec la **fleur** [2].

Les cuirs peuvent être livrés *entiers*, c'est-à-dire la peau complète ou séparée par le milieu, avec tête, pattes et queue, ou en *croupons*, c'est-à-dire la partie utilisable débarrassée complètement des pattes, tête, collet, queue et de ce qu'on appelle les chutes ou la dépouille.

Ils proviendront de peaux parfaitement tannées de fond dans les meilleures conditions de tannage et de corroyage. Pour le tannage proprement dit, on emploiera, à l'exclusion de toutes les autres matières, le tan, c'est-à-dire l'écorce broyée de divers arbres (chêne, pin, etc.), les feuilles de sumac, etc., avec addition ou non d'extraits tannifères pour rehausser la richesse des jus en tannin.

Pour le gonflement des peaux, on rejettera d'une façon absolue l'emploi de bains acides d'acide sulfurique dilué.

Les cuirs hongroyés [3] devront être travaillés deux mois après le dépouillement au sel et à l'alun.

---

(1) Coups de couteau du boucher du côté de la chair.

(2) Est le côté du cuir où l'on voit encore la fleur.

(3) Cuirs épais passés au suif, à l'alun et à la chaux. (Hongroyage se dit par opposition à mégisserie qui désigne les peaux légères.)

Les cuirs tannés et les cuirs hongroyés devront être livrés dans l'état de siccité ou de nourriture en suif, variables suivant la nature et l'usage auquel les objets en cuir sont destinés.

A cet effet, on distingue ordinairement les cuirs de la façon suivante :

CUIRS DE BŒUF CROUPONNÉS POUR COURROIES.

Ces cuirs seront corroyés à l'anglaise [1], à veines bien découvertes. Ils devront être livrés en croupons non fendus mesurant environ 1 m. 600 de longueur sur 1 m. 400 de largeur. L'épaisseur variera de 5 à 7 millimètres suivant les demandes et sera soutenue dans toutes les parties autant que la conformation naturelle du cuir le permettra.

CUIRS À L'EAU [2].

Ces cuirs devront être livrés dans les mêmes conditions de qualité que celles des cuirs pour courroies ; les dimensions et épaisseurs seront également les mêmes, ils seront lissés des deux côtés.

CUIRS DEMI-SUIF [3].

Pour pistons, clapets, etc.

Ils seront fournis dans les mêmes conditions que les précédents en ce qui concerne les dimensions et les épaisseurs ; comme corroyage, ils devront être en bon demi-suif.

Toutes les pièces qui devront être nourries en suif, c'est-à-dire celles qui ne devront pas être livrées en cuirs secs (cuirs à l'eau) seront plongées, après découpage, dans un bain de suif chauffé à la vapeur ou au bain-marie et y séjourneront jusqu'à ce qu'elles soient imprégnées des quantités de suif demandées.

CUIRS PLEIN SUIF [4].

Pour rondelles, joints, obturateurs, etc.

Ces cuirs devront être fournis en demi-peau échantillonnée [5], c'est-à-dire la tête coupée à la saignée et les pattes aux genoux. Ils seront écharnés à vif et nourris en plein suif [6]. Les épaisseurs varieront de 3 à 4 millimètres suivant les demandes.

CUIRS POUR LANIÈRES.

Les cuirs pour lanières seront de vache hongroyée, bien écharnés et d'une mise en suif parfaite.

CUIRS BRUNIS POUR TIRANTS.

Ces cuirs pour la confection des tirants de glace et des pattes de manœuvre devront être en cuir de vache de première qualité, dit « cuirs brunis » ne contenant pas plus de 5 p. o/o de graisse. Ils seront livrés en demi-croupons de 1 m. 400 sur 0 m. 600 environ.

L'épaisseur devra être soutenue de 3 millimètres 5 à 4 millimètres, la fleur bien saine, sans éraflures ni taches et la chair bien glacée.

La couleur sera d'un jaune clair.

CUIRS POUR SOUFFLETS.

Les cuirs pour soufflets devront être en vache parfaitement égalisée, d'une épaisseur de 2 millimètres 5 à 3 millimètres, nourris en plein suif et grené avec soin. Ils devront être, en outre, non fendus et entièrement exempts de trous de taon et de coutelures d'aucune sorte.

---

(1) Cuirs ayant une préparation supérieure servant à la fabrication des harnais de luxe.

(2) Cuirs tannés à l'eau et martelés, soit pour les clapets, les semelles.

(3) Cuirs corroyés servant à la fabrication des courroies, des harnais, etc.

(4) Cuirs corroyés en plein suif; servent pour les joints.

(5) Dont on a enlevé toutes les parties défectueuses : pattes, tête, ventre et queue.

(6) Préparation spéciale comportant dressage et glaçage du côté de la chair, peuvent s'employer à deux faces.

CUIRS POUR TUYAUX.

Ils seront en cuir de vache, de plein suif, pris dans les noyaux des croupons, grenés [1] avec soin et bien assouplis. Leur épaisseur, uniforme sur toute la surface variera, suivant les besoins, de 3 à 5 millimètres.

ESSAIS DE RÉSISTANCE.

Tous les cuirs pourront être essayés à la traction; on prélèvera dans chaque pièce choisie pour les essais une éprouvette ayant une section rectangulaire de côté égale à l'épaisseur du cuir et une largeur de 15 millimètres, ou des dimensions se rapprochant le plus possible de ces chiffres, dans le cas où les dimensions de la pièce ne permettraient pas de les atteindre.

La longueur utile de l'éprouvette sera de 100 millimètres.

La résistance à la rupture est variable avec la nature des produits, mais d'une façon générale tous les cuirs devront supporter sans se rompre une charge minimum de 2 kilogr. 300 par millimètre carré de section primitive, et les cuirs de courroies devront supporter au moins 2 kilogr. 600.

La Compagnie de l'Est demande aux cuirs une résistance plus considérable; ainsi, pour le cuir « n° 6 » elle exige que la résistance minimum des épreuves faites sur diverses bandes de la même livraison ne ressortisse pas à moins de 3 kilogrammes.

Aucune éprouvette ne doit se rompre sous une charge inférieure à 2 kilogr. 600 par millimètre carré pour les courroies et à 2 kilogr. 500 pour les autres pièces en cuir découpé.

ESSAIS CHIMIQUES.

Il pourra être procédé à des essais chimiques pour reconnaître la qualité de la matière.

Jusqu'ici ces essais ont consisté à déterminer la teneur en :

1° Eau;

2° Cendres;

3° Matières grasses.

Les essais se font sur le cuir découpé au couteau sous forme de minces lanières ou de menus copeaux.

1° *Dosage de l'eau.* — On opère à l'étuve à air sec à 100 degrés (des essais comparatifs nous ont montré qu'on obtenait très sensiblement le même chiffre en opérant ainsi ou bien dans le vide sur l'acide sulfurique, même dans le cas de cuirs gras).

La prise d'essai est de 2 grammes, la dessiccation est complète au bout de douze heures de chauffage à 100 degrés.

2° *Dosage des cendres.* — On incinère le cuir sec, résultant de l'opération précédente, en ayant soin de commencer l'incinération au rouge sombre seulement.

3° *Dosage des matières grasses.* — La prise d'essai est de 2 grammes à 5 grammes de cuir, suivant la teneur en matières grasses.

On traite par la benzine (qui dissout moins de matières étrangères que l'éther) jusqu'à épuisement complet de la matière grasse. La perte de poids, subie par le cuir, après dessiccation à 100 degrés, donne la proportion de matières grasses.

On peut avoir une vérification de ce chiffre par l'évaporation de la benzine: ce qui permet, de plus, de recueillir la matière grasse elle-même et de l'étudier plus complètement, si cela paraît nécessaire.

4° Il peut y avoir lieu de s'assurer si les cuirs ne contiennent pas de l'acide sulfurique; le

[1] Passés au cylindre pour obtenir le grain à la surface.

fait a été, paraît-il, constaté et naturellement a des inconvénients nombreux; nous n'en avons jamais trouvé dans les cuirs.

CONDITIONS PARTICULIÈRES RELATIVES AUX COURROIES.

Les courroies de transmission doubles ou simples seront exécutées en cuir de bœuf de tout premier choix, corroyé à l'anglaise. Les bandes, taillées dans les noyaux seuls des croupons, devront être exemptes de tous défauts.

Elles seront d'épaisseur bien uniforme et d'égale largeur dans toute leur étendue.

Leur longueur ne sera pas supérieure à 1 m. 600 ni inférieure à 1 m. 300. L'épaisseur du cuir, pour les courroies au-dessous de 60 millimètres de largeur, ne sera pas inférieure à 4 millimètres sur toute leur longueur. Pour les courroies de 60 millimètres et au-dessus, cette épaisseur ne sera pas inférieure à 5 millimètres.

Les extrémités des bandes de cuir qui composeront chaque courroie, simple ou double, seront amincies afin d'éviter une surépaisseur nuisible et de conserver toute la souplesse à chacune des jonctions de ces bandes.

La longueur des jonctions varie de 10 à 25 centimètres suivant la largeur de la courroie, et pour les courroies doubles, elle n'est que les deux tiers de celles des courroies simples.

Les courroies doubles seront parfaitement collées dans toute leur étendue, les deux cuirs mis en contact chair sur chair, ou bien le côté chair de la bande extérieure sur le côté fleur de la bande intérieure.

Dans ce cas, la fleur située à l'intérieur de la courroie devra être adoucie à l'étiré ou au papier de verre, afin d'obtenir une adhérence plus complète.

Les courroies doubles collées seront en outre cousues longitudinalement de chaque côté sur toute leur longueur et à 15 ou 20 millimètres du bord.

Les courroies simples dont la largeur n'est pas supérieure à 35 millimètres seront collées à chaque jonction sans coutures.

Pour les largeurs de 40 millimètres et au-dessus, les jonctions seront collées et cousues.

Toutes les coutures devront être bien régulières et bien parallèles entre elles et au bord de la courroie.

Elles seront faites avec des lanières fortes, de 5 à 6 millimètres de largeur au plus. Les points seront disposés de telle sorte que leur longueur ne dépasse pas 10 millimètres et leur écartement 12 millimètres.

Le nombre des coutures, qui est de deux pour les courroies dont la largeur ne dépasse pas 70 millimètres, augmente jusqu'à neuf ou dix pour les courroies de 400 millimètres de largeur.

Les coutures doivent en outre être battues de façon à ne présenter aucune saillie susceptible de nuire à l'adhérence.

Toutes les courroies, préparées aux longueurs fixées, seront soumises à l'action de tendeurs et étirées bien droit, afin de diminuer en partie leur extensibilité et d'assurer leur marche rectiligne.

Paris, le 22 septembre 1898.

E. POLONCEAU.

ESSAIS DE DRAPS, TOILES

ET TISSUS DIVERS.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. E. POLONCEAU.

Pour les draps, toiles et tissus divers, il est difficile de fixer d'une façon absolue des conditions de réception.

Les divers essais mécaniques ou chimiques auxquels on peut les soumettre donnent évidemment des indications précieuses sur leur qualité, mais ne sauraient être une sûre garantie du bon usage qu'elles feront en service.

Aussi, indépendamment des conditions imposées pour la fabrication et des essais de résistance qu'il y a lieu de prescrire, il est bon de demander aux fournisseurs, avant la commande, des échantillons répondant, autant que possible, aux conditions imposées, de les soumettre aux essais les plus propres à se renseigner sur la bonne qualité de la matière et d'exiger ensuite que les pièces fournies ne soient inférieures, en aucun point, aux échantillons-types présentés et adoptés, notamment comme qualité, teinte, aspect, toucher, force, nerf, finesse, etc.

A cet effet, il est remis au fournisseur, à titre de renseignement consultatif, une monographie de l'échantillon-type établie d'après tous les essais effectués sur lui, savoir :

Résistances moyennes en chaîne et en trame; nombre de fils au centimètre; poids au mètre carré, résultats d'épreuves chimiques, de teinture, d'exposition au soleil, etc., avec indication des tolérances admises sur certains points susceptibles de varier au cours d'une fabrication normale.

Nous indiquerons ci-après les principales conditions imposées par les compagnies de chemins de fer pour les draps servant à la garniture des voitures, les toiles et tissus divers.

DRAPS.

Les draps devront être de la qualité dite *cuir laine croisée;* ils devront être semblables en tous points aux échantillons-types. Ils seront fabriqués exclusivement avec des laines mères, lavées à fond par les meilleurs procédés usités et soigneusement triées, dégraissées et épurées.

Tout mélange d'autres matières ou d'autres laines est formellement interdit.

NUANCE ET TEINTURE.

Les nuances les plus usitées sont le gris noisette, mastic et bleu. Les draps seront teints en laine, la teinture devra être faite par les meilleurs procédés, de manière à obtenir des nuances solides et à ne pas altérer la laine.

Les laines pour drap bleu devront être teintes à l'indigo, sur cuve au sulfate de fer (cuve au vitriol) [1] ou bien sur cuve au pastel ou au « vouède » [2], à l'exclusion de toute cuve à la potasse (cuve d'Inde) [3] ou autre, et sans que la couleur soit rehaussée par l'emploi du bois de campêche, de l'aniline ou de ses dérivés, ou de toute autre substance.

Les laines seront lavées à froid après la teinture.

La teinte pour chaque sorte de drap sera de nuance égale, autant que possible semblable à celle de l'échantillon-type, ou tout au moins comprise entre les teintes de deux échantillons, l'un un peu plus foncé, l'autre un peu moins foncé que la teinte-type

TISSAGE.

Le tissage sera fait en trame mouillée [4]; les degrés de finesse et de torsion de la chaîne et de la trame seront régulièrement proportionnés afin que le drap présente un tissu serré, clos et uni, et qu'après le foulage l'étoffe soit parfaitement feutrée.

Le tissu ne devra offrir aucun clair indiquant un défaut de matière, il devra présenter par centimètre carré le nombre de fils indiqués dans la chaîne et dans la trame.

Les défauts, tares, trous, déchirures, clairières, ribaudures [5], etc., lorsqu'ils seront localisés, n'empêcheront pas l'emploi de la pièce, mais donneront lieu à une réduction du métrage.

DÉGRAISSAGE, FOULAGE, etc.

Les draps teints en laine seront dégraissés à fond et foulés au savon par les meilleurs procédés usités.

Ils seront décatis à la vapeur avec interdiction absolue de tout moyen ayant pour objet ou pour résultat de diminuer le retrait ou de procurer à l'étoffe un lustre factice.

Ils seront parfaitement tondus à l'endroit et à l'envers, conformément au type.

A l'endroit, le drap sera de teinte franche, d'aspect très fin, soyeux et brillant, doux au toucher, régulièrement tondu; il ne présentera aucune tache ni défaut.

A l'envers, la surface sera propre et la tonte suffisamment poussée pour permettre d'utiliser le drap, lorsque l'on retourne la garniture des voitures.

Les draps doivent présenter un poids déterminé par mètre carré, avec cependant une tolérance de 5 p. 100 en plus ou en moins.

Toute surcharge de matière colorante, toute addition de colle, de substance mucilagineuse quelconque ou d'apprêt dit *indestructible*, ou toute autre préparation augmentant d'une manière factice le poids ou l'apparence de l'étoffe sont rigoureusement interdits. Toutes les pièces devront présenter à chacune de leurs extrémités un chef portant la marque de l'usine et le numéro de la pièce.

Toute pièce dont les chefs ne seront pas intacts sera refusée (chefs, tête et queue de la pièce portant généralement la marque de l'usine).

Lorsque les pièces de drap auront été examinées et reconnues acceptables au point de vue de la teinte, de la fabrication, du métrage, du poids au mètre carré, etc., on opérera une section dans chaque pièce en un endroit quelconque de sa longueur et l'on détachera les bandes nécessaires pour procéder aux essais chimiques et aux essais de résistance à la traction.

---

(1) La réduction de l'indigo est faite au sulfate ferreux.

(2) La réduction de l'indigo est faite avec du son en fermentation et de la chaux.

(3) La réduction est faite également au moyen du son, mais on emploie la potasse au lieu de la chaux.

(4) On mouille toujours la trame pour donner du serrage au tissu et pour éviter que les fils s'emmêlent au dévidage.

(5) Grilles se formant dans un tissage défectueux dont les fils sont déplacés et que l'on ravaude à la main.

ESSAIS CHIMIQUES.

Les essais chimiques ont principalement pour but de reconnaître la fixité de la teinte.

Soumis pendant 24 heures d'abord à l'action de l'eau distillée froide, puis à celle d'une solution alcaline froide à 2 p. 100 et enfin plongés pendant 5 minutes dans une solution savonneuse à 2 p. 100 bouillante, les échantillons ne doivent abandonner aucune trace de teinture.

Les échantillons de drap bleu seront, en outre, soumis pendant une heure à l'action de l'eau distillée chauffée à 90 degrés et ne devront présenter après l'immersion aucune altération sensible quant à la teinture; ils devront résister d'une façon absolue, au point de vue de la teinture, à l'immersion dans l'acide sulfurique ordinaire étendu de deux tiers d'eau.

Il sera également procédé à des épreuves de décatissage et à des épreuves de dégraissage permettant de constater les quantités de matières grasses solubles contenues dans les draps présentés à la réception.

A l'exposition à l'air et au soleil, et d'une façon générale pour tous les essais, la teinte ne devra subir d'autres modifications que celles présentées sous les mêmes influences par l'échantillon type.

ÉPREUVES DE RÉSISTANCE.

Les bandes qui doivent servir aux essais de résistance seront découpées, les unes dans le sens de la chaîne, les autres dans le sens de la trame; leur largeur sera de 50 millimètres et leur longueur utile de 350 à 500 millimètres.

Elles devront résister sans se rompre aux charges indiquées et qui sont ordinairement de 30 à 35 kilogrammes dans le sens de la chaîne et de 25 à 30 kilogrammes dans le sens de la trame.

La Compagnie du Nord, cependant, exige pour ses draps une résistance plus forte, 45 kilogrammes en chaîne et 42 kilogrammes en trame.

Les essais de traction peuvent s'exécuter sur un appareil quelconque à traction directe, mais ils se font le plus souvent au moyen du dynamomètre Perreaux ou du dynamomètre Chevefy.

Dans le dynamomètre Perreaux (fig. 11) l'organe de mesure est un ressort à lames que l'on tire par une de ses extrémités. Une crémaillère qui suit le mouvement engrène avec un pignon

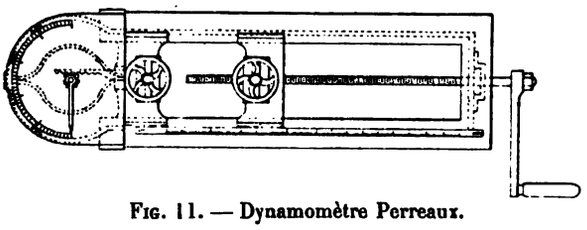


Fig. 11. — Dynamomètre Perreaux.

qui porte une aiguille. Au moment de la rupture, l'aiguille reste en place et indique la charge maximum supportée par la pièce essayée.

De plus, au même moment, un volant en fonte, immobile jusque-là, s'encliquette, et se mettant à tourner oppose son inertie au retour trop brusque des ressorts.

Le dynamomètre Chévefy (fig. 12) est basé sur l'emploi du pendule comme organe de mesure.

Le pendule est calé sur l'axe d'une came (fig. 13) dont les rayons vecteurs sont proportionnels aux sinus des angles, en sorte que l'arc parcouru par le pendule est proportionnel aux charges. Sur cette came, une chaîne plate se développe et porte une mâchoire.

A la partie inférieure du bâti, un volant conduit deux roues d'angle dont la deuxième forme écrou sur la vis de traction. Le pendule porte un cliquet qui engrène sur une crémaillère fixée à l'intérieur du secteur et s'arrête ainsi au moment de la rupture de l'éprouvette.

Le plateau P représenté sur la figure peut être suspendu à des crochets spéciaux de la mâchoire supérieure et permet de faire des vérifications fréquentes de la justesse de l'appareil.

En enlevant les contrepoids, on augmente la sensibilité de l'appareil et l'on peut ainsi essayer

des éprouvettes de résistances très différentes. La force maximum des appareils construits est de 750 kilogrammes.

DYNAMOMÈTRE CHÉVEFY.

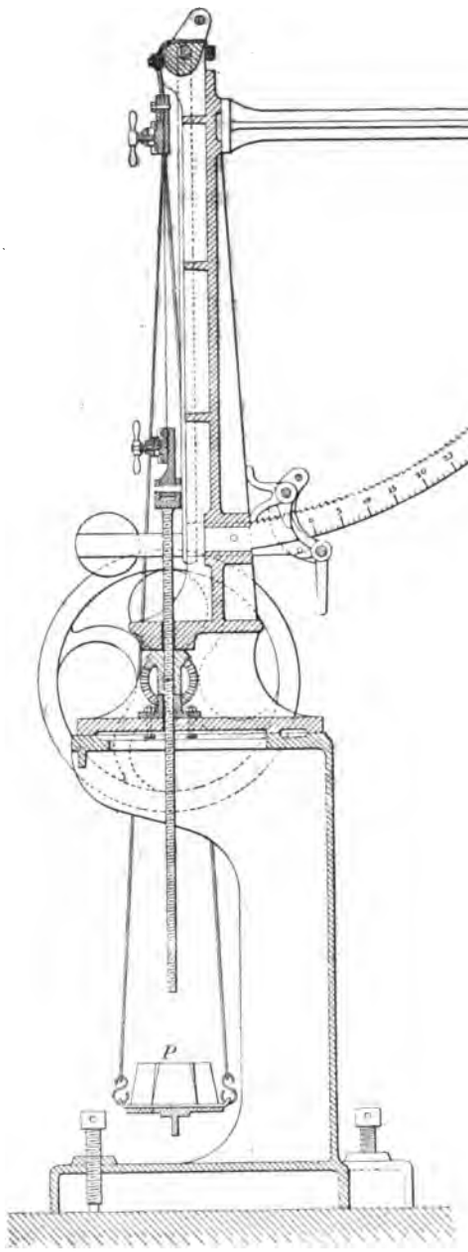


Fig. 12. — Coupe verticale.

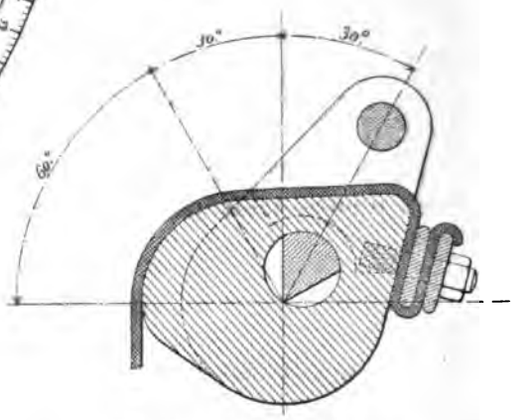


Fig. 13. — Coupe de la came.

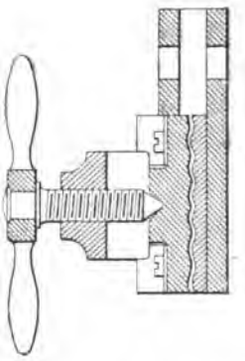


Fig. 14. — Coupe d'une mâchoire.

Il existe ordinairement deux jeux de mâchoires, l'un pour l'essai des draps, toiles et tissus, représenté (fig. 14), l'autre pour l'essai des cordes et ficelles.

TOILES ET TISSUS DIVERS.

Les tissus de lin, chanvre, coton et autres textiles tels que les toiles diverses, coutils, cretonnes, calicots, percalines et tissus divers devront présenter tous les caractères de la même fabrication et être identiques comme qualité de matière, composition, aspect, entrelacement des fils, souplesse, force, etc., aux échantillons types.

Le tissu doit être fabriqué exclusivement avec le ou les textiles indiqués, le tissage doit être régulier; les fils de trame bien perpendiculaires aux fils de chaîne; après tissage, l'étoffe sera épaillée et débarrassée, s'il y a lieu, de tout apprêt, encollage quelconque ou matière étrangère provenant de la fabrication.

Le tissage doit être soigné, serré sans l'être trop; les fils doivent être de grosseur uniforme, tendus également et régulièrement espacés; le tissu bien tendu doit être souple, peu extensible,

d'une nuance uniforme, sans clairières ni courbures, coques[1] ou toutes autres irrégularités trop sensibles; examiné par transparence, il doit présenter un ensemble régulier, un pointillé uniforme sans plaques ou parties feutrées opaques; il ne sera calandré ou cylindré que si la commande le comporte.

Le nombre de fils en chaîne et en trame sera uniforme en quelque point que ce soit de la même pièce.

Les lisières formées par des fils retors seront droites et unies et devront répondre aux conditions spéciales indiquées pour chaque sorte de tissu.

La laize ou largeur de chaque pièce après finissage sera la même dans toute la longueur de la pièce.

Tout procédé quelconque ayant pour but ou pour résultat de donner une largeur temporaire autre que celle obtenue après retrait normal du tissu descendu du métier est formellement interdit.

Le mesurage de la largeur sera fait sur le tissu déroulé et étendu sans aucune tension, on n'admettra aucune tolérance en moins sur les dimensions minima de largeur indiquées pour chaque pièce.

Les divers tissus seront livrés en pièce d'un seul tenant, d'une longueur de 80 à 100 mètres et présentant à l'une des extrémités un chef ou des faisceaux de fils indiquant le nombre des parties; ce chef indiquera le nom du fournisseur, le numéro de la pièce et son métrage; l'autre extrémité sera fermée par un liteau de couleur d'un centimètre environ de largeur.

Le poids au mètre carré sera constaté en pesant la pièce et en divisant par sa surface; pour l'établissement de la surface la longueur comprendra les chefs et la largeur sera la moyenne résultant de divers mesurages.

RÉDUCTION DU MÉTRAGE.

Les défauts, trous, déchirures, clairières, coques, pailles, nœuds ou gros fils nombreux, etc., s'ils sont localisés dans une ou plusieurs parties n'entraîneront pas forcément le rebut de la pièce, mais donneront lieu à une réduction de métrage correspondante qui ne pourra être, en aucun cas, inférieure à 10 centimètres par défaut; mais les fils cassés et en général tous les défauts régnant sur plus d'un dixième de la longueur de la pièce seront un motif de refus.

ESSAIS DE RÉSISTANCE.

Les éprouvettes destinées aux essais proviendront toujours du milieu de la pièce et seront prises en nombre égal, les unes dans le sens de la chaîne, les autres dans le sens de la trame.

La longueur utile de ces éprouvettes sera de 300 à 500 millimètres, le plus ordinairement 400 millimètres; la largeur sera de 50 millimètres obtenue en découpant les éprouvettes à une largeur un peu supérieure, puis en les ramenant exactement à cette largeur en effilochant les fils qui dépassent.

Pour les toiles, ces éprouvettes seront divisées en deux groupes dont chacun comprendra des éprouvettes prises dans le sens de la chaîne et dans le sens de la trame.

Les éprouvettes de l'un de ces groupes seront placées pendant quarante-huit heures dans un dessiccateur à chlorure de calcium et constitueront alors les éprouvettes sèches; les éprouvettes de l'autre groupe seront au contraire abandonnées pendant le même temps à la température moyenne de 15 degrés centigrades dans de l'air saturé d'humidité et constitueront les éprouvettes humides.

Les éprouvettes sèches et les éprouvettes humides seront ensuite soumises à des essais de résistance poussés jusqu'à la rupture au dynamomètre Perreaux ou au dynamomètre Chévefy, et les résultats moyens ne devront pas être inférieurs aux valeurs imposées pour chaque genre de tissu.

[1] Fils de trame formant boucles dans les pièces; ces boucles ou coques se présentent le plus fréquemment près de la lisière.

Nous donnons ci-dessous les résistances minima que doivent avoir quelques-unes des toiles employées par la Compagnie d'Orléans.

NATURE DES TOILES.	RÉSISTANCE MINIMUM DANS LE SENS DE LA	
	Chaîne.	Trame.
	kilogrammes.	kilogrammes.
Toiles pour bâches	200	210
Toiles pour rideaux	150	200
Toiles pour couvertures	150	160

On ne pourra pas établir de moyenne entre les résultats obtenus dans un sens et dans l'autre (chaîne et trame) et il ne sera pas admis de tolérance au-dessous des chiffres indiqués.

ESSAIS CHIMIQUES.

Il pourra être procédé également à des essais chimiques dans le but de déterminer la solidité de la teinte pour les pièces de couleur, de vérifier la nature des textiles employés dans la fabrication et de rechercher les quantités d'encollage ou apprêts quelconques.

ÉPREUVES DE DÉCATISSAGE ET DE LESSIVAGE.

L'épreuve de décatissage aura lieu sur un coupon d'essai dont on déterminera le poids exact après l'avoir introduit dans une étuve à 100 degrés centigrades où il sera maintenu jusqu'à dessiccation complète, ou bien après l'avoir placé tout d'abord dans un endroit absolument clos et rendu chimiquement sec au moyen du chlorure de calcium. On plongera ensuite le coupon ou l'éprouvette dans un bain d'eau douce chauffée à la température de 50 degrés centigrades et on l'y laissera macérer pendant deux ou trois heures consécutives; puis, elle sera retirée de ce ban et rincée à l'eau douce, égouttée et séchée dans l'étuve, puis pesée de nouveau.

La différence entre les deux pesées faites après le passage de l'éprouvette dans l'étuve donnera la quantité d'encollage.

Pour l'épreuve de lessivage, l'éprouvette qui aura servi à l'épreuve de décatissage sera plongée dans une lessive de soude chauffée à 50 degrés centigrades et marquant 1015 au densimètre; elle y sera maintenue pendant six heures consécutives, ou bien encore on la tiendra plongée pendant une demi-heure seulement dans une lessive entretenue bouillante et composée comme suit :

Eau	1 litre.
Hydrate sodique NaO, HO	10 grammes.

Cette lessive sera maintenue au même degré alcalimétrique en remplaçant au fur et à mesure l'eau d'évaporation. Le poids de la lessive devra chaque fois représenter 16 à 18 fois le poids de l'éprouvette ou du coupon du tissu mis en essai.

Le lessivage terminé, l'éprouvette sera rincée à l'eau douce, froide, puis placée dans l'étuve à 100 degrés centigrades jusqu'à dessiccation complète et pesée.

La différence entre ce dernier poids et le poids de l'éprouvette décatie et sèche obtenu à l'épreuve précédente représente la perte de poids due au lessivage.

Les pertes de poids dues à ces deux épreuves, décatissage et lessivage, ne doivent pas dépasser les valeurs fixées et sont exprimées en tant pour cent du poids primitif.

La perte totale peut varier de 7 à 8 p. 100 pour certaines toiles, jusqu'à 25 p. 100 pour les coutils et treillis.

De plus les toiles avant le lessivage ne devront pas se colorer en bleu par la teinture d'iode. La coloration bleue révèle la présence de l'amidon indiquant que les toiles ont été encollées au moyen de ce produit, ce qui ne doit pas être.

Paris, le 22 septembre 1898.

E. POLONCEAU.

ESSAIS DE PAPIERS.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. E. POLONCEAU.

Pour la réception des papiers, on exige surtout, en dehors des conditions de format et de dimensions indiquées par les commandes, que les papiers soient de même nuance et de même qualité que les échantillons types acceptés par les fournisseurs.

Ils sont examinés au point de vue du poids, de l'aspect, de la souplesse, de la finesse, de l'homogénéité, de l'impression, etc.

Un certain nombre de feuilles de la livraison sont, en même temps que des feuilles du type, immergées dans l'eau et mises immédiatement à sécher.

Après séchage, toutes les feuilles doivent avoir le même aspect; quand il s'agit de papiers à écrire, on doit pouvoir écrire aussi nettement sur les unes que sur les autres.

On peut également leur faire subir l'essai d'exposition à l'air et à la lumière.

Lexamen du papier, ainsi fait, bien que ne pouvant se traduire par des quantités chiffrables, permet dans la plupart des cas de se rendre compte de la conformité avec l'échantillon type.

On peut cependant imposer des conditions de fabrication, notamment la composition de la pâte, la teneur maximum des cendres et exiger une résistance déterminée, variable avec la nature des papiers.

La Compagnie des chemins de fer de l'État divise les papiers qu'elle emploie en six catégories devant répondre aux conditions énoncées ci-après :

CATÉGORIE ET DÉSIGNATION DES PAPIERS.	PROVENANCES.	RÉSISTANCES.	TENEURS EN CENDRES.
		kilogr.	p. 100.
1re CATÉGORIE : *Blanc supérieur*....	Sera fabriqué exclusivement avec des chiffons blancs et ne contiendra pas de charge.....	20	4
2e CATÉGORIE : *Blanc ordinaire*....	Pourra provenir de pâte de chiffons quelconques et de pâtes chimiques de nature textile (paille, bois, etc.). Il ne pourra contenir qu'une très faible charge.....	17	8

CATÉGORIES ET DÉSIGNATION DES PAPIERS.	PROVENANCES.	RÉSISTANCES.	TENEURS en CENDRES.
		kilogr.	p. o/o.
3e CATÉGORIE : *Bulle supérieur*....	Pourra provenir de pâtes de chiffons quelconques et de pâtes chimiques de nature textile (paille, bois, etc.). Il ne pourra contenir qu'une très faible charge.....	18	8
4e CATÉGORIE : *Couleurs fines*.....	Pourra provenir de pâtes de chiffons quelconques et de pâtes chimiques de nature textile (paille, bois, etc.). Il ne pourra contenir qu'une faible charge.....	17	10
5e CATÉGORIE : *Bulle ordinaire*....	Pourra provenir des mêmes pâtes que le papier de 3e catégorie et contenir, en outre, de la pâte mécanique de bois et un peu de charge, mais dans des proportions n'empêchant pas d'obtenir un très bon collage.....	12	12
6e CATÉGORIE : *Couleurs ordinaires*.	Pourra provenir des mêmes pâtes que le papier de 4e catégorie et contenir, en outre, de la pâte mécanique de bois et un peu de charge, mais dans des proportions n'empêchant pas un très bon collage.....	11	14

Les résistances peuvent se constater au moyen des dynamomètres Perreaux, Chevefy, représentés dans la *Note sur les essais de draps, toiles et tissus divers*, ou encore de tout appareil à essayer à traction directe.

On fait aussi très fréquemment usage du dynamomètre Horack qui donne en même temps les allongements.

Les essais doivent porter sur des éprouvettes découpées dans le sens de la fabrication et dans le sens perpendiculaire.

Les résistances indiquées dans le tableau ci-dessus s'appliquent à des papiers du poids de 1 gramme par décimètre carré, découpés en bandes de 6 centimètres de large et d'une longueur de 30 centimètres.

Les résistances constatées sur des papiers de poids différents doivent être proportionnelles à ces poids; aussi, dans bien des cas, on calcule d'après les résultats obtenus aux essais la longueur d'une bande qui se romprait sous son propre poids.

Tous les papiers de nature indiquée plus haut devront être parfaitement collés et de telle façon que des traits de grosseur quelconque tracés avec de l'encre à copier supérieure ne s'étalent ni ne traversent le papier; ils seront satinés identiquement des deux côtés.

En ce qui concerne les dimensions des formats employés en France, elles sont indiquées dans le tableau suivant :

FORMATS DES PAPIERS.	HAUTEUR.	LARGEUR de la FEUILLE OUVERTE.
	mètres.	mètres.
Grand-Aigle.....	0,750	1,050
Colombier.....	0,610	0,890
Jésus.....	0,560	0,720
Raisin.....	0,500	0,650
Carré.....	0,450	0,560
Coquille.....	0,440	0,560
Écu.....	0,400	0,520
Couronne.....	0,360	0,460
Tellière.....	0,340	0,440
Pot.....	0,310	0,400

Cependant les papiers pour affiches peuvent être demandés en double ou quadruple colombier.

Paris, le 22 septembre 1898.

E. POLONCEAU.

ESSAIS DE CAOUTCHOUCS.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. E. POLONCEAU.

Le caoutchouc, soit à l'état vulcanisé, soit à l'état pur, est employé dans l'industrie à divers usages, très nombreux, très divers; dans cette note, nous ne nous occuperons que de son emploi dans les chemins de fer.

Nous l'employons en rondelles pour ressorts, en plaques pour joints, clapets de pompes, ressorts, en tubes pour tuyaux divers, boyaux d'accouplement, bagues, capsules diverses spécialement pour têtes de boyaux d'accouplement de frein, etc.

La détermination des conditions techniques propres à définir la meilleure qualité des produits en caoutchouc manufacturé présente d'assez grandes difficultés; cependant, la bonne qualité de la matière peut se reconnaître par l'examen des caractères physiques, par des analyses chimiques et par des épreuves mécaniques variables avec la nature des objets.

CARACTÈRES PHYSIQUES.

Les propriétés du caoutchouc vulcanisé dépendent des quantités de soufre et de matières mortes ajoutées à la gomme pure.

Dans la pratique, on distingue trois à quatre catégories de caoutchouc :

C'est ainsi qu'à la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée, on appelle *caoutchouc normal* celui qui contient 94 à 96 p. 100 de gomme; qu'à la Compagnie de l'Ouest, on distingue : le *caoutchouc élastique nerveux*, renfermant au moins 85 p. 100 de gomme, le *caoutchouc souple*, qui en contient au moins 60 p. 100 et le *caoutchouc feutré*, au moins 35 p. 100.

Un bon caoutchouc vulcanisé ordinaire, tel que le caoutchouc normal ou le caoutchouc élastique nerveux, doit être parfaitement homogène, souple, élastique, nerveux, compact, criant sous la dent et ne pas s'altérer avec le temps; il doit être exempt de bulles, soufflures, inégalités de surface ou autres défauts pouvant nuire à la solidité des pièces ou à leur aspect; la section faite avec un instrument tranchant doit être nette et brillante.

On désigne ainsi dans le commerce sous le nom de *caoutchouc feutré* un produit composé de caoutchouc dans lequel on a ajouté, en proportion variable et souvent très grande, toute espèce

de résidus et de déchets de la fabrication du caoutchouc, tels que des fibres, des toiles, des tissus et même des parcelles métalliques,

Quelquefois, le caoutchouc feutré se compose de deux membranes de caoutchouc entre lesquelles on a interposé de la toile.

L'addition de ces matières a pour but de donner du corps au caoutchouc quand l'élasticité n'est pas la qualité principale que l'on recherche dans son emploi.

Les caoutchoucs feutrés, quoique moins souples que les précédents, doivent cependant pouvoir se plier avec facilité, la section faite par un instrument tranchant doit être peu lisse et la déchirure devra avoir l'aspect du feutre, c'est-à-dire présenter de petits filaments dépassant les bords de la partie déchirée.

La densité et la composition du caoutchouc vulcanisé sont variables et dépendent des usages auxquels les objets sont destinés; elles doivent être indiquées pour chaque catégorie de pièces.

La composition se constate au moyen d'analyses chimiques.

La gomme employée doit être généralement du caoutchouc naturel du Para; les caoutchoucs poisseux, notamment ceux du Gabon, doivent être proscrits, ainsi que le réemploi du vieux caoutchouc.

La Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée demande pour la composition de son caoutchouc normal :

Gomme pure du Para	96 à 94 p. o/o.
Soufre	2 à 3 p. o/o.
Matières étrangères	2 à 3 p. o/o.

La Compagnie d'Orléans demande pour le caoutchouc ordinaire une densité qui ne doit pas être supérieure à 1; la proportion de matières étrangères, soufre non compris, doit être au plus de 5 p. 100, celle du soufre doit être de 3 p. 100 au maximum.

Pour les caoutchoucs destinés aux rondelles, clapets, joints, bagues, etc., la proportion de matières étrangères est plus grande, elle dépasse rarement 35 p. 100, soufre non compris, celle du soufre est alors de 5 p. 100 et la densité peut atteindre 1,4.

Quant au caoutchouc feutré, il doit contenir au moins 35 p. 100 de gomme.

Dans aucun cas, le caoutchouc ne doit renfermer des matières susceptibles de l'altérer, ou de le rendre cassant.

La vulcanisation doit être conduite avec le plus grand soin, la température de cuisson doit dépasser très peu le point de fusion du soufre (114°) et la cuisson doit être prolongée aussi longtemps qu'il est nécessaire pour obtenir une vulcanisation complète de la masse.

Lorsque la vulcanisation est obtenue par l'emploi du sulfure d'antimoine, les mêmes soins doivent être apportés pour que la vulcanisation soit complète.

Les pièces qui, pour leur emploi, sont destinées à supporter des températures élevées, doivent être soumises à l'épreuve par macération, c'est-à-dire qu'elles doivent supporter pendant une certaine durée une température de 130 à 150 degrés centigrades dans une chaudière à vapeur sans que le caoutchouc présente d'altération après cet essai.

La Compagnie de l'Ouest prescrit 10 heures à 150 degrés.

Les Chemins de fer de l'État, 48 heures à 130 degrés.

La Compagnie d'Orléans demande aussi que le caoutchouc vulcanisé, indépendamment des conditions spéciales imposées à chaque objet, satisfasse à l'essai suivant: chauffé dans l'air chaud, à la température constante de 135 degrés centigrades, pendant quatre heures consécutives, il ne doit pas perdre plus de 1,5 p. 100 de son poids primitif et doit conserver les propriétés d'un bon caoutchouc.

ESSAIS PHYSIQUES ET ANALYSE CHIMIQUE.

Les essais physiques et chimiques des caoutchoucs sont faits, au laboratoire de la Compagnie d'Orléans, en suivant les méthodes ci-après :

Densité. — La densité se détermine à la balance hydrostatique en employant de l'eau distil-

lée pour les pièces dont la densité est supérieure à 1,000, et de l'eau alcoolisée (à 25° environ) pour les pièces ayant une densité inférieure à 1,000,

Cendres. — On découpe, en différents points de la pièce, des petits morceaux cubiques ayant au maximum 0 m. 005 de côté; on en pèse environ 5 grammes que l'on jette peu à peu dans une capsule de porcelaine tarée, placée à l'entrée d'un moufle chauffé au rouge cerise, température qu'il ne faut pas dépasser pour finir l'incinération.

Quand toutes les parties noires ont disparu, on retire du feu, laisse refroidir et on recarbonate les cendres avec une solution saturée de carbonate d'ammoniaque.

Soufre total. — On opère sur de la râpure de caoutchouc prélevée en différents points de la pièce.

Dans un petit creuset en porcelaine émaillée, on fait digérer 0 gr. 250 de caoutchouc râpé avec 1 centimètre cube d'alcool à 90 degrés et 1 gramme de potasse caustique, puis 3 grammes d'eau : on laisse en contact pendant douze heures, puis on évapore au bain de sable. On place le petit creuset dans un creuset plus grand en biscuit et l'on chauffe directement sur le bec Bunsen brûlant en veilleuse en additionnant peu à peu la masse de nitrate de potasse pulvérisé. Le poids de nitrate à ajouter varie de 0 gr. 50 à 1 gramme.

En opérant ainsi, on a une oxydation et une combustion lente et il n'y a pas de perte de soufre. On finit du reste par un coup de feu de deux à trois minutes après addition d'une petite quantité de nitrate.

Le combustion finie, on reprend la masse par l'eau, et l'on évapore sur le bain-marie la solution préalablement additionnée d'un excès d'acide chlorhydrique. On sépare ainsi la silice. Dans la liqueur filtrée on précipite l'acide sulfurique par le chlorure de baryum et l'on fixe à l'état de sulfate de baryte.

Cette méthode donne des résultats absolument concordants dans des mains exercées.

Action de la chaleur à 135 degrés. — On opère sur de petites lanières de 0 m. 03 × 0 m. 01 × (0 m. 001 à 0 m. 002) découpées dans différents points de la pièce. On les place dans un double tube fermé au moyen de rondelles en amiante. Ce tube est chauffé dans une solution de chlorure de calcium, bouillant à 135 degrés.

On pèse avant et après le chauffage à 135 degrés qui dure quatre heures.

Essai rapide de vérification. — Quand la composition et la qualité d'un type de caouchouc sont bien fixées, il est inutile, à chaque livraison, de procéder à tous les essais décrits qui entraînent la détérioration complète et la mise hors d'usage d'une pièce. Or la densité variant avec la teneur en cendres ou en soufre, ou avec la présence de matières organiques étrangères, il suffit de s'assurer que cette densité reste constante.

Cette vérification de constance de la densité se fait très exactement et très rapidement (au plus 10 minutes) de la façon suivante, et cela, sans abîmer en rien la pièce :

On place celle-ci dans un vase suffisamment grand pour qu'elle puisse s'y déplacer en tous sens sans toucher aux parois.

On verse dans le vase une solution de carbonate de potasse ayant la densité présumée. Si la pièce flotte dans le liquide et y reste en équilibre, c'est que la densité est bien exactement celle supposée.

Si la pièce surnage ou s'enfonce, on ajoute de l'eau (pièce surnageant) ou une solution saturée de carbonate de potasse (pièce s'enfonçant) jusqu'à ce que la pièce flotte au sein du liquide, c'est-à-dire ait la même densité que le liquide. On retire alors la pièce et on prend la densité du liquide avec un densimètre.

Dans le cas où la densité serait inférieure à 1,000 on remplacerait la solution de carbonate de potasse par de l'eau alcoolisée.

FALSIFICATIONS.

Les falsifications que l'on peut faire subir au caoutchouc sont des plus diverses.

Les principales sont les suivantes :

Mélange avec du caoutchouc factice (caoutchouc des huiles), avec des résines, de la cire, des corps gras, de la paraffine;

Emploi de vieux caoutchouc ou de caoutchouc régénéré ;

Adjonction de sciure de bois, de râpure de liège, d'amidon, de carbone en poudre (noir de fumée, graphite), d'asphalte ou de brai de gaz, de fibres textiles (caoutchouc feutré).

Quelques-unes de ces falsifications peuvent être reconnues facilement.

Fibres textiles. — La cassure obtenue en pliant la pièce à 180 degrés, après avoir commencé la section au couteau, a un aspect pelucheux et quelquefois de carton.

Sciure de bois, râpure de liège, amidon, carbone, asphalte ou brai. — On découpe le caoutchouc sous forme de petits cubes de quelques millimètres de côté et on carbonise en vase clos, en opérant comme pour déterminer les matières volatiles dans les charbons, mais à la température du rouge seulement.

Un caoutchouc pur ou seulement additionné de factices ne laisse pas de carbone fixe ou tout au moins celui-ci ne dépasse pas 1/2 p. 100 du poids des matières calcinables.

Dès que le chiffre de carbone fixe (résidu de la calcination en vase clos, cendres déduites) dépasse 1 p. 100, on peut craindre une falsification avec une des matières citées.

Factices, cires, résines, corps gras. — Ces corps sont en totalité ou en partie seulement solubles dans la solution de potasse alcoolique bouillante, ce qui permet de les séparer du caoutchouc.

Asphalte, brai, cires, résines, paraffine. — Ces corps sont solubles en partie ou en totalité dans la nitrobenzine à froid : le caoutchouc l'est fort peu, il est seulement soluble à la température d'ébullition (209 degrés).

Vieux caoutchouc en poudre. — On peut quelquefois le reconnaître en faisant une coupe du caoutchouc aussi mince que possible. On examine à la loupe ou au microscope et l'on peut, avec un peu d'habitude, reconnaître les grains de vieux caoutchouc répandus dans la masse.

En résumé, pour la recherche et le dosage des falsifications, le mode opératoire est le suivant :

En admettant qu'un corps au moins des différentes classes se trouve dans le mélange :

1° On fait une cassure et on l'examine attentivement; si elle a l'aspect pelucheux, fibres textiles ou d'amiante ;

2° *Calcination en vase clos.* — Si le carbone fixe dépasse 1 p. 100 du poids de matières calcinables, on se trouve en présence d'une matière végétale ou tout au moins capable de donner un résidu de carbone fixe.

3° On prend 5 grammes de râpure de caoutchouc en différents points de la pièce, on les met dans une fiole conique munie d'un réfrigérant à reflux avec 50 centimètres cubes d'une solution alcoolique de potasse : on fait bouillir une heure, on décante, filtre et recommence l'opération avec 50 nouveaux centimètres cubes; on décante, filtre, lave et dessèche après traitement à l'acide chlorhydrique faible : la perte doit être inférieure à 6 p. 100 du poids de la matière calcinable.

La râpure est alors reprise à froid par la nitrobenzine, on lave à la nitrobenzine, on sépare de l'excès de nitrobenzine par l'eau et on dessèche, la perte ne doit pas dépasser 2 p. 100.

On reprend alors par la nitrobenzine bouillante (209°); tout le caoutchouc se dissout.

Le résidu est formé de matières fixes (on pourra ici voir sous quel état celles-ci ont été introduites), de la sciure, des fibres textiles, etc.

En résumé, on peut aujourd'hui déceler presque toutes les falsifications courantes, sauf pour le caoutchouc dit *régénéré* et dans certains cas seulement l'addition de râpures de vieux caoutchoucs.

Je fais étudier au laboratoire de la Compagnie d'Orléans diverses méthodes ayant pour but de déterminer le soufre sous les différents états auxquels il se trouve dans le caoutchouc; déjà, on peut retrouver dans le résidu du traitement de la nitrobenzine à chaud le soufre introduit avec les cendres sous forme de sulfure ou de sulfate : mais, il serait beaucoup plus intéressant de connaître le soufre combiné ou soufre de vulcanisation et le soufre resté libre.

D'autre part, l'essai de chaleur à 135 degrés dans l'air sec n'est pas suffisant pour déceler la présence des caoutchoucs factices : il faut, pour ces corps, opérer dans l'eau à 170° : on étudie actuellement au laboratoire un dispositif qui puisse conduire rapidement au résultat.

ESSAIS MÉCANIQUES.

La ténacité et l'élasticité sont constatées par des épreuves variables avec la nature des objets et en rapport avec leur emploi.

ESSAIS À L'EXTENSION.

Cet essai consiste à soumettre les échantillons prélevés, jusqu'à ce qu'ils se rompent, à une série d'allongements alternatifs au moyen d'appareils spéciaux disposés à cet effet comme celui représenté à la figure 1 et qui est en usage à la Compagnie d'Orléans.

La pièce à essayer est saisie dans les deux étaux E, E′ (fig. 1), dont l'un est fixé sur une vis

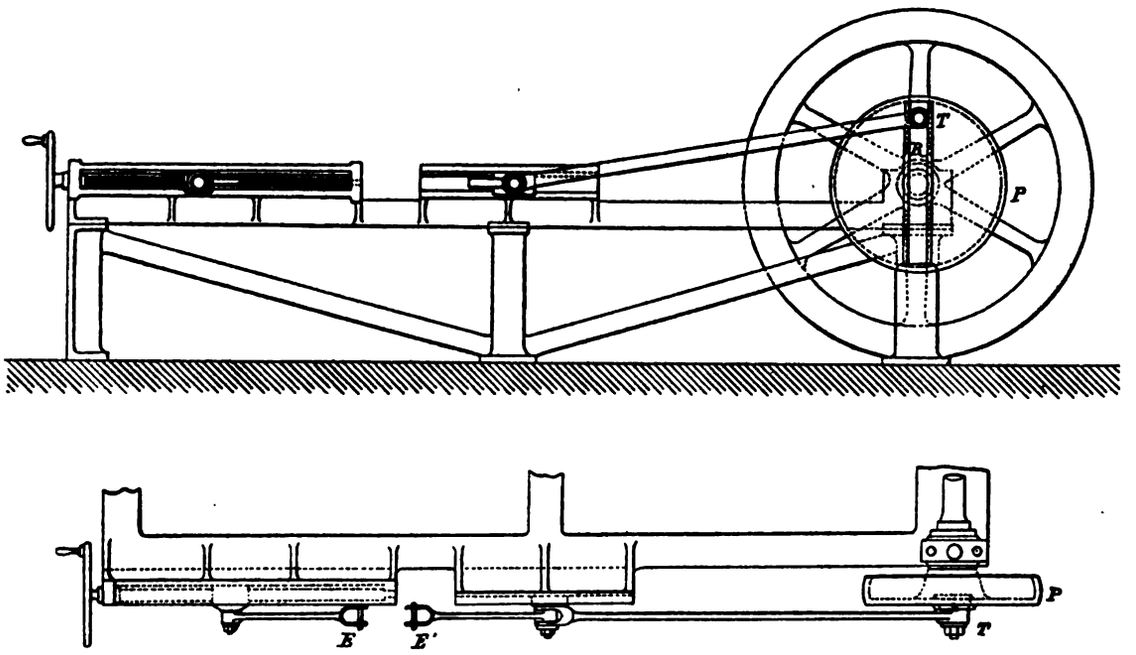


Fig. 1. — Machine à essayer les caoutchoucs à l'extension.

commandée par un volant, l'autre sur une tige reliée à une bielle qui est articulée à un tourillon T que l'on peut fixer dans la rainure R à une distance quelconque du centre du plateau P.

Une fois la pièce fixée, on peut lui donner un premier allongement initial et permanent, en déplaçant l'étrier E au moyen de la vis. Les allongements supplémentaires se règlent en déplaçant l'articulation de la bielle dans la rainure du plateau P.

Les conditions de l'essai diffèrent un peu suivant les Compagnies, mais d'une façon générale, l'élasticité de la matière étant en raison directe de sa qualité et de sa pureté, les allongements auxquels les pièces seront soumises seront d'autant plus nombreux que le caoutchouc devra être meilleur.

A la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée, le caoutchouc à essayer est soumis à un allongement initial et permanent de n fois la longueur initiale; il est en outre soumis à des allongements supplémentaires qui portent l'allongement total à n' fois la longueur initiale de l'objet à essayer. Ces allongements supplémentaires sont produits à raison de 20 à 25 allongements par minute jusqu'à ce que la rupture se produise.

Les valeurs de n et de n' varient selon la nature des objets à essayer; le tableau suivant in-

dique pour chaque nature d'objets les valeurs de n et de n' et les nombres d'allongements supplémentaires qui doivent être produits avant la rupture.

NATURE DES OBJETS.	VALEUR de n	VALEUR de n'	NOMBRE D'ALLONGEMENTS SUPPLÉMENTAIRES avant rupture.
Tubes, tuyaux, objets analogues.....	4	8	100
Bandes, plaques, objets analogues	4	8	180
Anneaux, rondelles, objets analogues	1	5	45

Les essais de tubes portent sur un échantillon ayant une longueur d'environ 30 centimètres. Pour l'essai l'échantillon est saisi entre deux agrafes semblables (fig. 2), l'organe principal de ces

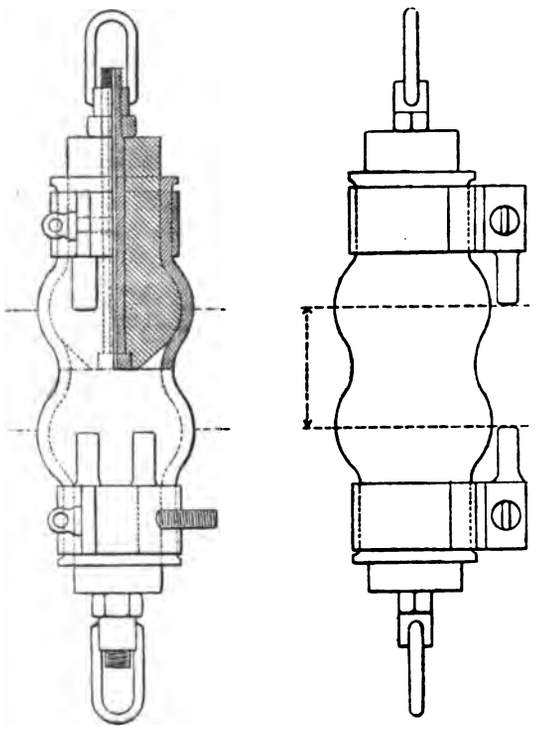


FIG. 2.

deux agrafes constitué par une toupie en bois dur a pour but de distendre le tube dans la région voisine du collier de serrage et pour effet de diminuer la fatigue de la matière à l'endroit du collier et d'assurer, par suite, la rupture de l'échantillon entre les deux agrafes. Les allongements initiaux et supplémentaires sont, en ce qui concerne les essais des tubes, tuyaux et pièces analogues, mesurés entre les deux équateurs des toupies des agrafes lorsque l'échantillon est saisi entre les agrafes et disposé pour l'essai. En outre des essais par allongement, chaque tube ou tuyau doit pouvoir subir sans déformation une pression intérieure dont la valeur est indiquée au cahier des charges ou au marché.

Pour les bandes et plaques, l'essai porte sur des lanières découpées dans les objets; ces lanières sont régulièrement prismatiques sur une longueur de 300 ^{mm}; elles sont terminées par des appendices disposés en vue de l'application des efforts de traction et que l'on saisit entre les mâchoires, la partie prismatique a pour section un rectangle dont l'un des côtés est égal à l'épaisseur de la bande et l'autre côté à deux ou trois fois cette épaisseur.

Pour les anneaux et les rondelles, l'essai porte sur les objets eux-mêmes présentés à la réception, les anneaux sont allongés au moyen de deux tourillons en fer passés dans l'anneau. Le diamètre de ces tourillons est d'au moins 2/3 du diamètre intérieur de l'anneau.

La Compagnie de l'État soumet également à des épreuves analogues des lanières découpées dans les pièces et ayant pour dimensions de la section, l'une l'épaisseur de la pièce, l'autre le double de l'épaisseur.

Ces lanières, soumises à un premier allongement permanent, doivent pouvoir supporter une série d'allongements alternatifs supplémentaires à raison de 20 à 25 par minute jusqu'à la rupture.

Pour les rotules et tuyaux souples non entoilés, l'essai porte sur des anneaux découpés dans ces rotules ou tuyaux.

Il ne doit se produire aucune altération après l'allongement permanent et le premier allongement supplémentaire constatés.

Le tableau ci-après indique, suivant la nature des objets à essayer, les coefficients d'allongement permanent et supplémentaire en fonction de la longueur utile de l'éprouvette sur laquelle se fera l'essai; de telle sorte qu'en appelant la longueur considérée l, et le coefficient d'allongement c, on obtienne après l'épreuve une longueur représentée par $l+lc$.

Ce tableau indique également le nombre d'allongements supplémentaires successifs qui doivent être obtenus avant la rupture.

NATURE DES OBJETS.		COEFFICIENT D'ALLONGEMENT c EN FONCTION DE LA LONGUEUR CONSIDÉRÉE l.		NOMBRE D'ALLONGEMENTS supplémentaires avant rupture.
		c Permanent.	c Supplémentaire.	
Rotules et tuyaux souples non entoilés.....	les pièces elles-mêmes.....	3	6	100
	les anneaux.....	1	4	50
Lanières découpées dans les rotules et autres articles de même catégorie.....		3	6	150
Lanières découpées dans les bandes, feuilles plates, clapets, buttoirs et autres articles de même catégorie.....		2	4	40

La Compagnie de l'Ouest ne soumet à ces essais que les pièces des deux premières catégories (caoutchouc élastique nerveux et caoutchouc souple) destinées à travailler à l'extension.

Les lanières prélevées dans les échantillons soumis aux essais ont pour épaisseur celle de la pièce et une largeur égale au double de cette épaisseur.

Pour les tuyaux et rondelles, l'essai porte sur des anneaux découpés dans ces tuyaux ou sur les rondelles elles-mêmes.

On communique d'abord aux lanières ou anneaux un premier allongement dit « allongement initial », puis une série d'allongements supplémentaires à raison de 20 ou 25 par minute.

L'allongement initial doit porter la longueur primitive: au triple pour les lanières de la première catégorie, au double pour celles de la seconde catégorie, au double pour les rondelles et anneaux de première catégorie et à une fois et demie pour les rondelles et anneaux de seconde catégorie.

L'allongement supplémentaire doublera respectivement l'allongement initial pour chaque pièce.

La pièce soumise à l'essai doit supporter le premier allongement sans présenter de trace de déchirure ou d'altération et ne doit pas se rompre avant d'avoir subi 150 allongements supplémentaires pour les lanières de première catégorie, 40 pour celles de seconde, 50 pour les rondelles de première catégorie et 10 pour les rondelles de seconde.

A la Compagnie d'Orléans, les essais d'extension se font d'une façon un peu différente : les pièces ou les éprouvettes ne sont plus soumises à un allongement initial, mais doivent subir un certain nombre d'allongements alternatifs sans qu'il se produise aucune crique, rupture ou déchirure, et les pièces doivent revenir après l'essai à leur forme et à leurs dimensions primitives.

Les rondelles pour ressorts, tampons, suspensions, sont allongées à trois fois leur diamètre intérieur et le nombre des allongements successifs est de 30; pour les plaques, l'allongement

est de quatre fois et demie la partie libre entre les attaches; pour les anneaux et rondelles découpées dans les tubes et tuyaux, il est de quatre fois et demie leur diamètre; le nombre des allongements est de 60 pour les plaques comme pour les anneaux.

ESSAIS DE PRESSION INTÉRIEURE OU EXTÉRIEURE DES TUYAUX ET ESSAIS DE FLEXIBILITÉ.

Indépendamment des essais par traction alternatives indiqués ci-dessus, les tuyaux sont en général essayés à des pressions variables qui dépendent de leur nature et de l'usage auquel ils sont destinés.

A titre d'indication, nous pouvons donner les renseignements suivants :

Les tuyaux avec pli de toile simple ou multiple, intérieur ou extérieur, tels que ceux employés pour l'arrosage du combustible, pour le lavage des chaudières à l'aide du pulsomètre et en général tous ceux qui sont soumis, en service, à une pression intérieure d'eau ou d'air pouvant atteindre 3 ou 4 kilogrammes par centimètre carré, doivent pouvoir supporter à l'essai, sans déformation permanente, une pression intérieure de 6 kilogrammes par centimètre carré.

Les tuyaux en caoutchouc pour conduites de vapeur doivent pouvoir supporter une pression intérieure de vapeur de 10 kilogrammes par centimètre carré et n'éprouver aucune altération sous cette pression à laquelle ils seront tous soumis pour essai.

Ceux destinés au remplissage des réservoirs à gaz des voitures sont soumis à une pression intérieure de 11 kilogrammes par centimètre carré et doivent supporter cette pression sans qu'il s'y manifeste aucune déchirure ni indice de rupture.

Les tuyaux à spirale pour incendie sont essayés au vide pendant une heure au moins et ces essais sont simultanément accompagnés de flexions; ces tuyaux doivent résister à une pression de 15 kilogrammes par centimètre carré.

TUYAUX D'ACCOUPLEMENT POUR FREINS CONTINUS.

Les tuyaux en caoutchouc pour accouplement de freins continus sont, en raison de la nature particulière de leur emploi, soumis à des essais spéciaux de pression et de flexibilité qui diffèrent un peu d'une compagnie à l'autre.

Compagnie d'Orléans. — Ces tuyaux ne doivent prendre aucune déformation permanente après avoir supporté une pression intérieure de 10 kilogrammes par centimètre carré. Ils doivent en outre résister à une pression de 30 kilogrammes par centimètre carré.

En ce qui concerne la souplesse, ils doivent pouvoir être courbés sur toute leur longueur suivant un rayon de 100 millimètres sans qu'il se produise de cassure ni d'aplatissement en un point quelconque de leur surface. Ils seront garantis pour une durée de trois ans.

Chemins de fer de l'État. — Les tuyaux de freins, montés sur des appendices spéciaux et préalablement enduits extérieurement d'une couche d'eau de savon, seront tous essayés à l'air comprimé sous une pression de 6 kilogrammes par centimètre carré; ils ne devront pas présenter de fuites; ils devront également supporter des ployages en un endroit quelconque de manière que les deux parties viennent se juxtaposer sans qu'il se manifeste aucune crique ou rupture.

Compagnie de l'Ouest. — Le tuyau prélevé pour essai sera soumis à une pression intérieure de 8 kilogrammes par centimètre carré et ne devra, au cours de cet essai, donner lieu à aucune fuite, ni conserver après l'essai aucune déformation permanente; en outre, il devra pouvoir supporter une pression intérieure de 15 kilogrammes par centimètre carré sans qu'il s'y manifeste aucune déchirure ni indice de rupture.

Les essais de flexibilité se font au moyen de la machine représentée figure 3; le tuyau est saisi dans le manchon métallique G, en deux pièces, lequel est animé d'un mouvement de rotation alternatif sous l'influence de la bielle T; il en résulte pour la pièce un mouvement de torsion.

D'autre part, l'une de ses extrémités P reçoit l'action d'une autre bielle S qui lui imprime des efforts de flexion. L'appareil est complété par un compteur de tours.

Le tuyau sous pression est alors soumis à une succession de mouvements de torsion et de flexion jusqu'à la rupture.

Il a été constaté que les tuyaux qui résistent le moins longtemps à ces épreuves sont aussi ceux qui donnent les plus mauvais résultats dans la pratique.

Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée. — Les tuyaux de frein sont montés sur des supports spéciaux et accouplés de façon à se présenter dans les mêmes conditions qu'ils le sont en service entre les voitures (figure 4).

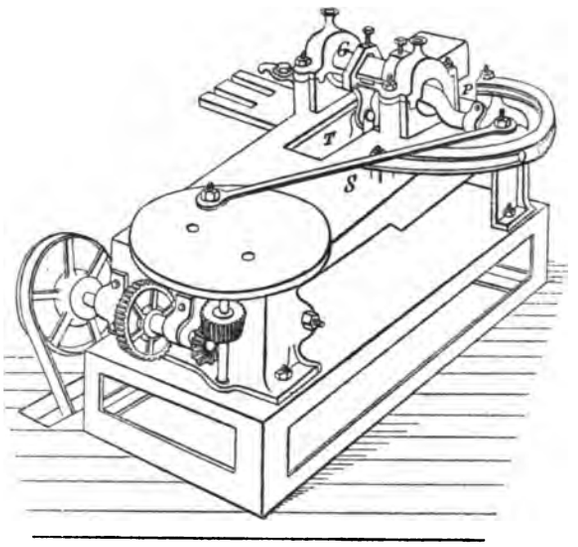


FIG. 3. — Machine à essayer la flexibilité des tuyaux en caoutchouc.

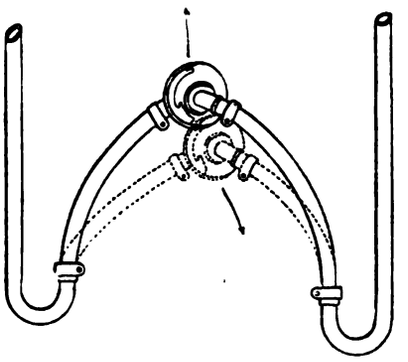


FIG. 4.

Ils sont soumis à une pression intérieure de 10 kilogrammes et subissent une série d'oscillations au nombre de 2,000 à raison de vingt à vingt-cinq par minute. Il ne doit pas se produire de fuites et à la fin de l'essai les boyaux ne doivent présenter aucune déformation ni trace de déchirure.

ESSAIS À LA COMPRESSION.

A la Compagnie des chemins de fer de l'État, on prélève sur les objets des éprouvettes en forme de prismes droits à base carrée, de façon que le côté du carré soit le plus grand possible et que la hauteur ou l'épaisseur du prisme soit égale au tiers de ce côté.

Ces éprouvettes doivent supporter pendant une heure une pression telle que leur épaisseur soit réduite à un tiers de l'épaisseur normale; c'est-à-dire qu'une éprouvette d'épaisseur e devra être amenée sous pression à $\frac{e}{3}$ d'épaisseur.

Elles devront, en outre, subir une série de six cents compressions consécutives, réduisant chacune leur épaisseur au tiers de l'épaisseur normale à raison de dix compressions par minute.

Il ne devra se manifester, après ces essais, aucune altération ni déformation appréciable de leur forme primitive.

Les compressions successives sont données par une machine semblable à celles qui servent à essayer les ressorts à la flexion, et dont la course est réglée en conséquence.

La Compagnie du Nord procède aux essais de compression à peu près dans les mêmes conditions, mais au lieu de prescrire des réductions d'épaisseur fixes, elle demande que les pièces soient soumises à des charges déterminées, variables avec la nature et les dimensions des objets; ainsi, les rondelles en caoutchouc (diamètre 145 millimètres, épaisseur 40 millimètres) devront fléchir de 15 à 16 millimètres sous un effort de 5,000 kilogrammes et pouvoir supporter sans altération une série de 600 compressions consécutives effectuées sous une charge de 9,000 kilogrammes.

Ces compressions sont obtenues comme précédemment, mais la rondelle, au lieu de reposer

sur un plateau fixe, est placée sur le plateau d'une romaine (figure 5) dont on charge le grand bras de levier de manière à obtenir la pression de 9,000 kilogrammes lorsque le mouton vient appuyer sur la rondelle.

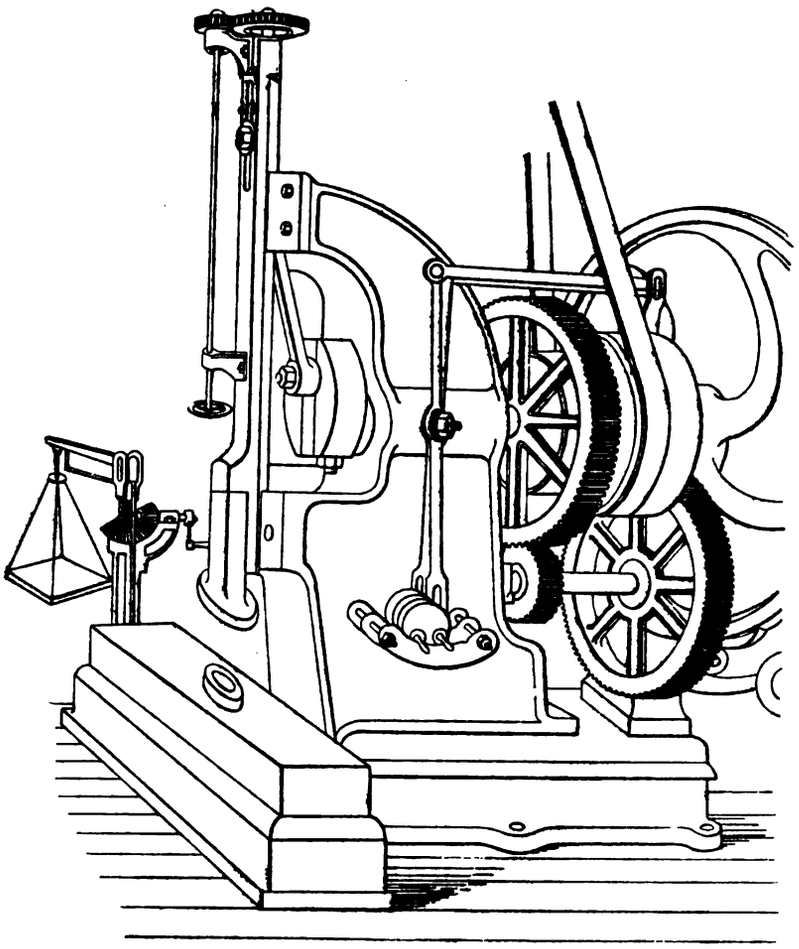


Fig. 5. — Machine à essayer les rondelles en caoutchouc à la compression.

Les Compagnies de l'Ouest et d'Orléans ne soumettent pas les pièces à des compressions successives, mais les laissent sous pression pendant plusieurs heures.

A la Compagnie de l'Ouest, la pièce choisie pour les essais doit être soumise pendant vingt-quatre heures à l'action d'une charge qui amènera son épaisseur aux deux tiers de l'épaisseur primitive. La pièce essayée devra reprendre exactement son épaisseur primitive après enlèvement de la charge.

A la Compagnie d'Orléans, les rondelles ne doivent pas, sous une charge de 3,500 kilogrammes ou 4,500 kilogrammes suivant l'épaisseur de la pièce, avoir une réduction d'épaisseur plus grande que la moitié de leur épaisseur à l'état libre. Ces rondelles doivent revenir à leurs forme et épaisseur primitives après être restées sous cette charge pendant quatre heures.

Les plaques en caoutchouc subissent les mêmes essais sous une charge de 13,000 kilogrammes.

La compression est obtenue au moyen d'une machine à essayer les métaux munie de son appareil de réversion, et les rondelles sont comprimées ayant dans le vide central une tige cylindrique de diamètre égal à celui de la tige qui occupe le trou quand la pièce est montée.

Après l'essai de compression, la rondelle est ensuite essayée à l'extension.

La Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée ne fait pas d'essai à la compression et se contente des essais à l'extension indiqués précédemment.

ESSAIS DE PLIAGE.

La Compagnie de l'Ouest ne fait ces essais que sur les pièces en caoutchouc feutré.

L'échantillon choisi doit pouvoir supporter, sans qu'il s'y manifeste aucune déchirure ou

gerçure, 10 pliages à bloc dans les deux sens pour les pièces d'épaisseur inférieure à 4 millimètres et 5 pliages à angle droit pour les pièces de 4 millimètres et au-dessus.

PRISE DES ÉCHANTILLONS ET RENOUVELLEMENT DES ÉPREUVES.

Le caoutchouc vulcanisé étant susceptible de s'altérer avec le temps, les essais faits de suite après la fabrication ne sauraient être un gage certain de la qualité de la matière et du bon usage des pièces.

Aussi, est-il de règle à peu près constante de prélever deux échantillons du même lot; l'un des échantillons subit de suite les épreuves auxquelles il est destiné, l'autre reçoit une fiche indicatrice relatant, outre les indications propres à chaque Compagnie, la date de la livraison et la date du procès-verbal d'épreuve du premier échantillon. Cette fiche est scellée sur l'objet, et le fournisseur appose son cachet sur le scellement.

L'échantillon ainsi marqué est déposé dans un local clos et couvert, à l'abri de l'humidité et des rayons directs du soleil, où il reste emmagasiné jusqu'à l'expiration du délai de garantie, qui est ordinairement de douze mois, mais peut être porté à deux et même trois années, comme c'est ordinairement le cas pour les tuyaux de frein. A l'expiration du délai, l'échantillon conservé est soumis aux mêmes épreuves que celles faites sur le premier échantillon lors de la réception provisoire; si les épreuves ne sont pas satisfaisantes, il en résulte une certaine retenue sur le prix de la livraison payé au fournisseur.

En ce qui concerne les objets en caoutchouc spéciaux, on s'assure que la matière a conservé ses qualités élastiques premières et notamment que le caoutchouc ne s'est ni ramolli, ni durci, qu'il n'a pas tourné au gras et n'est devenu ni cassant ni rugueux à la surface.

Il doit être prélevé des échantillons pour chaque lot de pièces différentes présentées à la réception, et même si le lot est important, il est convenable de prendre des échantillons pour chaque lot de 50 pièces; néanmoins, le nombre des épreuves peut être réduit sans inconvénient lorsque les objets présentés à la réception proviennent d'une même fabrication continuée en allure régulière, telle que la constance et l'identité de la qualité puissent être considérées comme parfaitement assurées.

Paris, le 15 novembre 1898.

E. POLONCEAU.

3 2044 103 132 668